

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ



А.В. Фомин

ОБЩИЙ КУРС ФОТОГРАФИИ

ББК 37.91
Ф 76
УДК 77(075.32)

Рецензент и научный редактор канд. техн. наук Э. Д. Тамицкий

Фомин А. В.

Ф 76 **Общий курс фотографии: Учеб. для техникумов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Легпромбыт-издат, 1987. — 256 с.**

Приведены основные сведения из оптики, описано устройство фотоаппаратов. Рассмотрены химические и физические основы фотопроцесса на галогенных солях серебра. Дана технология изготовления светочувствительных материалов. Изложены способы применения фотоматериалов при съемке, печати и химико-фотографической обработке. В отличие от второго издания, выпущенного в 1978 г., в книге рассмотрены процессы прикладной фотографии.

Для учащихся техникумов.

Ф $\frac{3404000000-099}{044(01)-87}$ 99-87

ББК 37.91

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Александр Васильевич Фомин

ОБЩИЙ КУРС ФОТОГРАФИИ

Редактор Т. П. Булдакова

Художественный редактор Л. К. Овчинникова

Технические редакторы Н. В. Черенкова, Г. А. Алашина

Корректоры В. Д. Четверикова, Р. А. Взорова

ИБ № 82

Сдано в набор 30.07.86. Подписано в печать 19.01.87. Т-01425. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская №1. Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем 16,0 п. л. Усл. п. л. 16,0. Усл. кр.-отт. 16,0. Уч.-изд. л. 17,35. Тираж 50 000 экз. Заказ № 258/34. Цена 85 коп.

Издательство «Легкая промышленность и бытовое обслуживание»
113184, Москва, М-184, 1-й Кадашевский пер., д. 12

Отпечатано с матриц Ленинградской типографии № 2 головного предприятия ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29 в Ленинградской типографии № 6 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

© Издательство «Легкая индустрия», 1978

© Издательство «Легкая промышленность и бытовое обслуживание», 1987, с изменениями

Предисловие

Слово «фотография» в переводе с греческого означает «светопись». Фотография — получение изображения в результате действия света на специальные светочувствительные материалы с последующей химической или физической их обработкой.

Предшественник фотоаппарата — камера-обскура (рис. 1). Одно из наиболее ранних ее описаний принадлежит Леонардо да Винчи. О камере-обскуре писали в трудах и многие другие ученые.

Пользуясь камерой-обскурой для рисования, французский художник и изобретатель Л. Ж. Дагер совместно с Н. Ньепсом изобрел новый способ получения фотозображений на слоях с галогенидами серебра и назвал его *дагерротипией*. Сообщение о новом изобретении было сделано 7 января 1839 г. на заседании Парижской академии наук. IX Международный конгресс научной и прикладной фотографии, проходивший в 1935 г., постановил считать 7 января 1839 г. днем изобретения фотографии.

Большой вклад в развитие фотографии внесли русские ученые, фотографы и изобретатели.

В нашей стране успешно развиваются наиболее перспективные направления использования фотопроцессов: электрофотография, фототермопластика, полупроводниковая фотография и др.

Совершенствуясь, фотография все больше проникает в различные сферы человеческой деятельности. Трудно назвать отрасль науки и техники, где бы она не применялась. Фотография во многом способствует техническому прогрессу. Благодаря ей были сделаны многие научные открытия.

Рассмотрим некоторые основные виды научной и технической фотографии.

Микрофотография позволяет запечатлеть увеличенными в сотни и тысячи раз мельчайшие объекты и частицы вещества. С помощью микрофотографии обнаружены многие процессы и явления. Микрофотографирование осуществляется на специальных приборах — микрофотоустановках, которые состоят из фотоаппарата, соединенного с микроскопом. Фотографировать исследуемые объекты можно (в зависимости от поставленной задачи) в видимых и невидимых глазом ультрафиолетовых или инфракрасных лучах.

Рентгенография используется в медицине, позволяет получить снимок объектов, скрытых от непосредственного наблюдения. Съемка производится с применением источника рентгеновских лучей.

Астрофотография — наука, с помощью которой занимаются изучением астрономических объектов. Первые фотографии небесных тел были получены

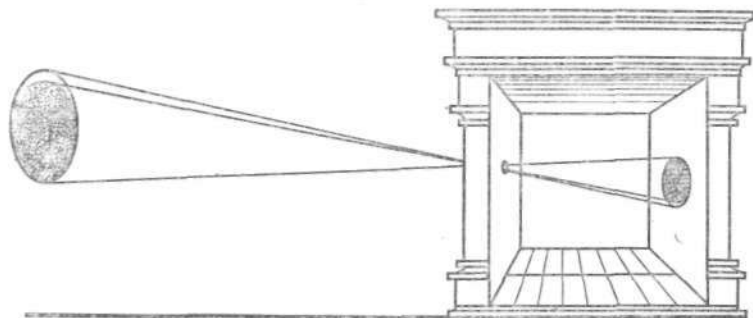


Рис. 1. Камера-обскура Гемма Фрезюса

в середине прошлого века. В настоящее время для астрономической съемки имеются специальные приборы — астрографы, представляющие собой телескоп, в окулярной части которого монтируется кассета с фотоматериалом.

Космическая фотография предназначена для съемки космических объектов с автоматических межпланетных станций и космических кораблей, управляемых космонавтами. Начало этому виду фотографии было положено в нашей стране. Благодаря космической фотографии получены снимки и составлен атлас обратной стороны Луны; космическими аппаратами переданы на Землю фотозображения поверхности Венеры и Марса.

Радиография применяется при изучении ионизирующих излучений в физике, ядерной технике, для изучения космических лучей, контроля промышленных изделий и т. д. Благодаря радиографии изучают процессы ядерных реакций. Так, явление радиоактивности было открыто в 1896 г. французским ученым А. Беккерелем по почернению на фотопластинке.

Аэрофотография позволяет фотографировать местность с воздуха (самолета, вертолета, искусственного спутника и т. п.). По полученным аэрофотоснимкам создают топографические карты, проводят геологические исследования, землеустроительные, лесоустроительные и археологические работы, ведут проектирование населенных пунктов, дорог, линий электропередач и т. п.

Фотография также широко применяется в полиграфии, в криминалистике, антропологии, метеорологии, металлографии и других областях.

ГЛАВА I

ФОТОАППАРАТЫ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ГАЛОГЕНИДАХ СЕРЕБРА

Фотосъемка осуществляется с помощью фотоаппарата — высокоточного оптического прибора, состоящего из ряда узлов и механизмов, важнейшими из которых являются: объектив 1 (рис. 2); приспособление 2, обеспечивающее наводку изображения на резкость; затвор 3; светонепроницаемый корпус 4, защищающий фотоматериал от постороннего света; видоискатель 5; кадровое окно 6; кассета со светочувствительным материалом 7.

Объектив состоит из системы линз, создающих на светочувствительном слое фотоматериала изображение объекта съемки. Для получения четкого изображения делают фотоаппарат подвижным или объектив с резьбой, позволяющей изменять его положение относительно фотослоя. С помощью затвора открывается доступ к фотослою сформированного объективом изображения объекта съемки. При этом проецирование продолжается в течение установленного времени (времени экспонирования).

На примере получения черно-белого изображения поясним принцип современного способа фотографии, основанный на применении галогенидосеребряных желатиновых фотослоев. В состав эмульсионного слоя фотоматериалов, черно-белых или цветных, входят микрокристаллы светочувствительных галогенидных солей серебра (в основном бромистого и иодистого), распределенные во взвешенном состоянии в водном растворе желатина. (Взвесь кристаллов в растворе желатина является суспензией, однако эти системы сохранили название «эмульсия»). Этот слой наносится на бумагу, стекло или негорючую пленочную основу.

В фотографии наибольшее распространение получил двухстадийный негативно-позитивный способ получения фотоизобра-

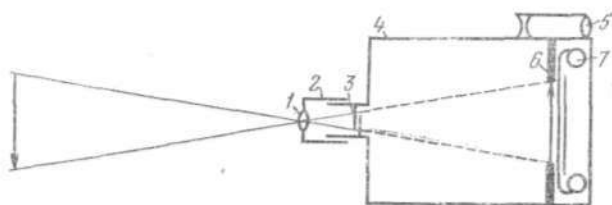


Рис. 2. Схема фотоаппарата



Рис. 3. Негатив (а) и позитив (б)

риал обрабатывают (в темноте или при окрашенном неактивном освещении, к которому не чувствителен фотослой), т. е. проявляют, опуская в проявитель (в специальный химический раствор), позволяющий скрытое изображение превратить в видимое. После этого фотоматериал промывают в воде, удаляя остатки проявителя, и затем переносят во второй раствор (фиксаж) для удаления из фотослоя остатков не подвергшегося освещению и не проявленного галогенидного серебра. Обработка материала в фиксаже называется процессом фиксирования.

Вслед за фиксированием следует окончательная промывка и сушка фотоматериала.

Описанный процесс химико-фотографической обработки фотоматериала называют негативным процессом, а полученное изображение — *негативом* (рис. 3, а).

С негатива получают *позитив* (рис. 3, б). Позитив может быть изготовлен на фотобумаге, специальной фотопленке или фотопластинке. Процесс его изготовления называют *позитивным*. Он также состоит из двух основных этапов: экспонирования позитивного материала (в данном случае печати) и его химико-фотографической обработки.

С черно-белого негатива получают черно-белый позитив, с цветного негатива — цветной позитив.

Печать осуществляют контактным или проекционным способом. При первом способе получают позитив, соответствующий по геометрическим размерам негативу. При этом негатив и позитивный фотоматериал закладывают в копировальную рамку или станок (контактная печать) и экспонируют через негатив. При втором способе позитив может быть увеличен, уменьшен или получен в одинаковом с негативом масштабе. Для проекционной печати применяют приборы, называемые фотоувеличителями.

Так называемые обращаемые черно-белые и цветные фото-

жений, складывающийся из следующих основных этапов: процесс съемки, негативный процесс, позитивный процесс. При съемке под действием света на различных участках светочувствительного слоя образуется невидимое глазом, так называемое скрытое изображение.

После съемки кассету фотоаппарата переносят в темное помещение для обработки фотоматериала. Экспонированный фотомате-

материалы после съемки и специальной химико-фотографической обработки дают готовый позитив и избавляют от необходимости получения негатива.

§ 2. ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ФОТОАППАРАТЕ

Изображение в фотоаппарате получают с помощью объектива, который состоит из системы центрированных линз и диафрагмы, заключенных в общую оправу. Кроме линз, некоторые объективы имеют систему зеркал. Для специальных целей (например, для съемки в ультрафиолетовых или инфракрасных лучах) применяют линзы из кварца, каменной соли.

В зависимости от характера поверхности линзы делят на собирающие (положительные) линзы (двояковыпуклые, плоско-выпуклые, вогнуто-выпуклые) и рассеивающие (отрицательные) линзы (двояковогнутые, плосковогнутые, выпукло-вогнутые). Средняя часть у собирающих линз толще, а у рассеивающих линз тоньше, чем края.

Радиусы сферических поверхностей линзы называются *радиусами кривизны линзы*, а прямая линия, проходящая через центры C_1 и C_2 (рис. 4) окружностей, — *главной оптической осью*.

Параллельный пучок лучей света, проходя через ограничивающую диафрагму B , попадает на собирающую линзу, после которой лучи сходятся на экране $\mathcal{E}$ в одной точке F , называемой *действительным главным фокусом линзы*.

Та часть, где располагаются предметы, называется *пространством объекта*, а их изображение — *пространством изображений*,

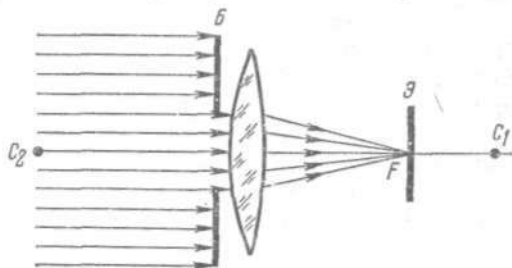


Рис. 4. Прохождение света через тонкую двояковыпуклую линзу

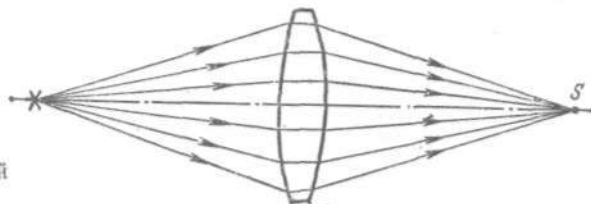


Рис. 5. Сопряженный фокус

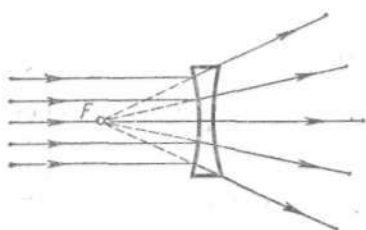


Рис. 6. Прохождение света через тонкую двояковогнутую линзу

Если вблизи от линзы находится точечный источник света, и лучи от него падают на линзу расходящимся пучком, то после преломления они соберутся в точке S (рис. 5), называемой *сопряженным фокусом*.

Расстояние от центра линзы до точки пересечения параллельного пучка лучей с оптической осью называется *задним главным фокусным расстоянием* линзы.

Таким же способом находят *переднее главное фокусное расстояние*. Они равны между собой.

Главное фокусное расстояние зависит от радиусов кривизны линзы и показателя преломления стекла.

Важное значение имеет оптическая сила линзы, измеряемая в диоптриях (Д). При этом принимается, что линза с фокусным расстоянием 100 см имеет оптическую силу в 1 Д.

При прохождении через рассеивающую линзу параллельный пучок лучей расходится в разные стороны (рис. 6). Если эти расходящиеся лучи мысленно продолжить, то они пересекутся в точке F получится мнимый главный фокус линзы. У отрицательных линз имеется мнимое фокусное расстояние и мнимое изображение. Это изображение нельзя получить непосредственно на матовом стекле или фотопленке. Оно образуется не самими лучами, а их продолжением.

Изображение предмета AB (рис. 7) в оптической системе (объективе) строится двумя основными лучами: лучом 1, падающим на оптическую систему параллельно ее главной оптической оси и пересекающим задний главный фокус F' системы после преломления; лучом 2, проходящим через передний главный фокус F и идущим после выхода из системы параллельно главной оптической оси.

Заднее главное фокусное расстояние f' собирающей линзы и расстояния от предмета до линзы a и от линзы до изображения a' находятся в определенной зависимости, выражаемой



Рис. 7. Построение оптического изображения предмета двумя лучами, проходящими через двояковыпуклую линзу

$$1/a + 1/a' = 1/f'.$$

Увеличение расстояния от предмета до линзы влечет за собой уменьшение расстояния от его изображения до линзы, и наоборот. Указанное условие обеспечивается фокусировкой объектива фотоаппарата перед съемкой. Рассмотрим основные положения предмета, характерные для съемки.

1 — объект съемки находится в бесконечности, т. е. $a \gg 2F$ (рис. 8); его изображение в сильно уменьшенном виде, действительное, обратное будет располагаться в задней фокальной плоскости оптической системы (объектива, линзы);

2 — объект находится на конечном от линзы или объектива расстоянии, которое больше двойного фокусного расстояния; изображение предмета действительное, обратное, уменьшенное располагается между задним главным и двойным фокусами; это наиболее характерный случай фотографической съемки;

3 — расстояние объекта от линзы равно двойному фокусному расстоянию; изображение действительное, обратное, в натуральную величину располагается на двойном заднем фокусном расстоянии от линзы;

4 — объект располагается между двойным и главным фокусами линзы. Изображение будет действительным, обратным, увеличенным и находится от линзы на расстоянии больше двойного заднего фокусного расстояния;

5 — объект располагается в передней фокальной плоскости; при этом положении основные лучи, участвующие в построении изображения, выйдя из линзы, пойдут параллельно друг другу, т. е. изображение будет бесконечно большим и расположится в бесконечности;

6 — объект располагается между линзой и

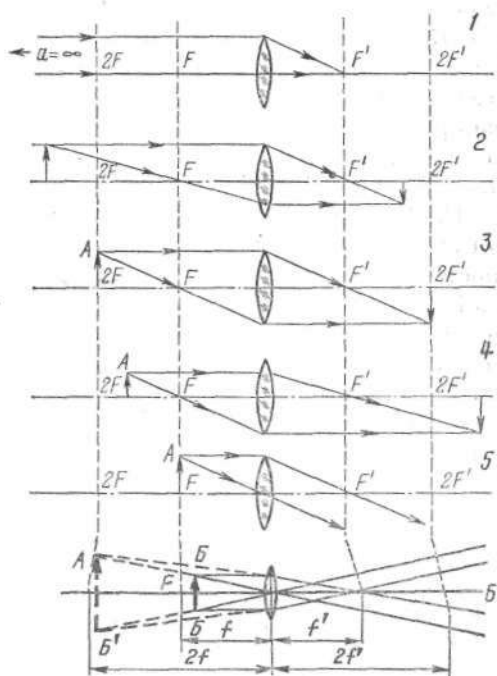


Рис. 8. Построение оптического изображения объекта двумя основными лучами, проходящими через тонкую двояковыпуклую линзу

передним фокусом; линза действует как увеличительное стекло, т. е. изображение будет мнимым, прямым и увеличенным.

Отношение линейных размеров оптического изображения l к линейным размерам изображаемого объекта Z называется *масштабом изображения*.

§ 3. НЕДОСТАТКИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При использовании в качестве фотообъекта простой линзы получают недостаточно четкое и не точное по геометрическим размерам изображение. Эти дефекты изображения в той или иной степени характерны и для других оптических систем и обусловлены рядом оптических недостатков, носящих общее название *абберации*. К этим недостаткам относятся: сферическая абберация; хроматическая абберация; дисторсия; астигматизм; кома.

Абберации уменьшаются или практически устраняются путем специального расчета и изготовления оптических систем, состоящих из нескольких линз. Линзы подбирают таким образом, чтобы абберации каждой из них были противоположны по знаку и гасили друг друга.

Сферическая абберация возникает вследствие того, что попавший в линзу, или объектив широкий пучок лучей после преломления пересекается не в одной, а в нескольких точках, расположенных на главной оптической оси (рис. 9). Это явление обусловлено тем, что степень преломления лучей, попадающих на края линзы, больше, чем лучей, идущих ближе к центру. Уменьшая диаметр входного зрачка линзы, т. е. срезая крайние лучи, можно в известной степени уменьшить влияние этого вида абберации. Величина сферической абберации зависит от формы и относительного положения линзы (или другой оптической системы), а также от положения их относительно объекта или плоскости изображения.

На практике при изготовлении фотообъективов влияние сферической абберации уменьшают путем подбора к собирающей линзе несколько менее сильной рассеивающей. При этом устраняется в основном абберация краевых лучей. Объективы с хорошо исправленной сферической абберацией обеспечивают правильную передачу всего, что находится на их оптической оси, и называются *апланатами*.

Хроматическая абберация обусловлена дисперсией света, происходящей при прохождении его через линзу. Это явление, как говорилось ранее, связано с тем, что действие

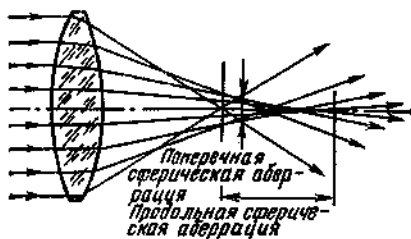


Рис. 9. Сферическая абберация

линзы и объектива основано на принципе преломления света призмой (рис. 10).

Значительное уменьшение хроматической aberrации достигается путем сочетания в оптической системе собирающей линзы, изготовленной из оптического стекла с большим коэффициентом и рассеивающей линзы из стекла с малым коэффициентом преломления. Такая двойная линза называется ахроматической, а объектив — ахроматом, или ландшафтной линзой. В таких объективах обычно бывает устранена хроматическая aberrация на двух основных участках спектра.

В связи с тем, что в последнее время зона спектральной чувствительности фотоматериалов значительно расширена, появился большой ассортимент цветных фотоматериалов, а также материалов, чувствительных к инфракрасной зоне спектра, требования к хроматической коррекции объективов для специальных съемок возросли. Оптическая система, исправленная для трех и более участков оптического спектра, называется апохроматической.

Дисторсия характеризуется искривлением прямых линий и имеет такое же происхождение, что и сферическая aberrация (рис. 11). На характер дисторсии влияет положение диафрагмы; если диафрагма расположена перед линзой, то дисторсия имеет бочкообразную форму, если за линзой — подушкообразную.

Этот вид aberrации устранен у симметричных объективов, состоящих из двух одинаковых компонентов, между которыми размещается диафрагма. Такие оптические системы и исправленные изображения называются ортоскопическими. Свобод-

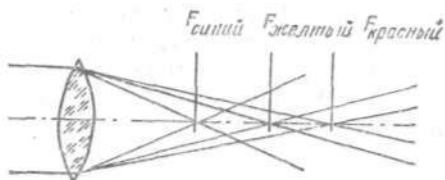


Рис. 10. Хроматическая aberrация

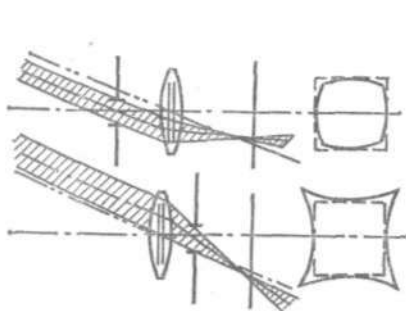


Рис. 11. Дисторсия и зависимость ее формы от положения диафрагмы

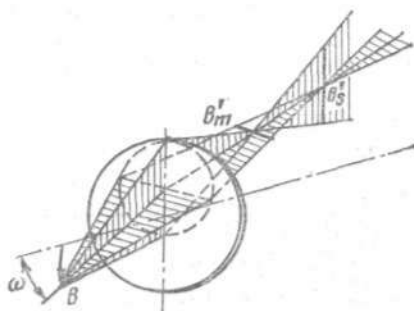


Рис. 12. Астигматизм

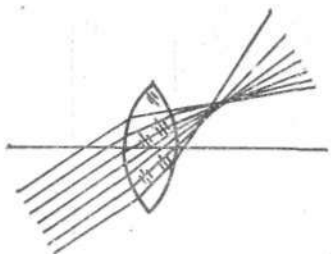


Рис. 13. Кома

ными от дисторсии могут также быть и несимметричные, специально рассчитанные оптические системы.

Астигматизм проявляется в невозможности получения одновременной резкости вертикальных и горизонтальных линий. Изображение точки B (рис. 12) передается при астигматизме в виде горизонтального B'_m или вертикального B'_s штриха. Явление астигматизма может возникнуть при

недостаточно точной сферичности линзы, но чаще и сильнее оно обнаруживается, если объект находится под некоторым углом ω к ее оптической оси. Величина астигматизма зависит также от положения диафрагмы относительно линзы.

Астигматизм относится к числу наиболее трудноисправимых недостатков и исправляется подбором определенного сочетания линз с различной кривизной поверхности. Объектив с устраненным астигматизмом называется астигматически исправленным, или анастигматом.

Следует указать, что эти недостатки все же частично присутствуют в объективах, особенно широкоугольных.

Кома является разновидностью сферической аберрации для наклонного к оптической оси линзы пучка света. При этом в связи с разным характером преломления лучей и асимметричным строением пучка изображение точки получается в виде запятой. Этот недостаток устраняется подбором соответствующих линз, т. е. путем специального предварительного расчета оптической системы (рис. 13).

§ 4. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТИВЫ

Фотообъективы в соответствии с их конструктивными особенностями делятся на симметричные, полусимметричные, несимметричные.

К симметричным относятся объективы (рис. 14а), имеющие абсолютно одинаковые передний и задний компоненты.

Полусимметричные объективы (рис. 14,б) при одинаковой конструкции компонентов могут иметь неодинаковый радиус кривизны их отдельных элементов или неодинаковые фокусные расстояния.

Несимметричные объективы (рис. 14,в) имеют различные передний и задний компоненты. Несимметричные объективы получили наибольшее распространение в фотографии.

Имеется еще две группы объективов: зеркальные и зеркально-линзовые, а также с переменным фокусным расстоянием (панкратические объективы).

Основные технические характеристики фотообъективов раз-

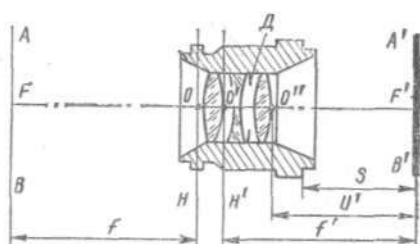
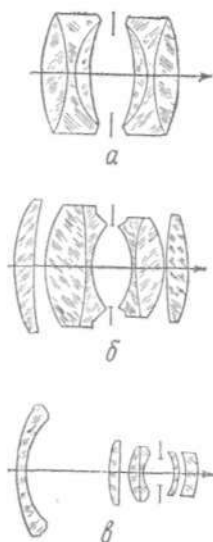


Рис. 15. Основные точки, плоскости и отрезки оптической системы объектива

Рис. 14. Фотообъективы:

а — симметричные; б — полусимметричные;
в — несимметричные

деляются на три группы: конструктивные, фотометрические и показатели качества получаемого изображения. Основные конструктивные характеристики — главное фокусное расстояние, угол изображения, относительное отверстие объектива.

Конструктивные характеристики — основные положения точек, плоскостей и отрезков системы объектива, фокусные расстояния: F (рис. 15) — передний фокус; F' — задний фокус; f — переднее фокусное расстояние; f' — заднее фокусное расстояние; O — передняя главная точка; O' — задняя главная точка; O'' — вершина последней линзы объектива; AB — передняя фокальная плоскость; $A'B'$ — задняя фокальная плоскость; H — передняя главная плоскость; H' — задняя главная плоскость; D — диафрагма; U' — вершинный отрезок (вершинное расстояние); S — рабочий отрезок (рабочее расстояние).

Вершинный отрезок — это расстояние от вершины последней линзы объектива по ходу светового луча до заднего главного фокуса F' в объективе фотоаппарата. Рабочий отрезок — это расстояние от поверхности опорного торца оправы до фокальной плоскости в объективе фотоаппарата.

Величина рабочего отрезка в различных отечественных фотоаппаратах, мм

Модели с объективом «Индустар 10» (ФЭД, «Зоркий»)	28,3±0,02
Модели с посадочной резьбой для объектива СпМ 42 × 1 мм	
«Киев-4», «Киев-5»	34,85±0,02
«Старт»	42,0±0,03
«Зенит-3М», «Зенит-Е»	45,2±0,02
«Зенит-В», «Зенит-ЕМ»	45,5±0,02
«Салют», «Киев-6С»	82,1±0,05

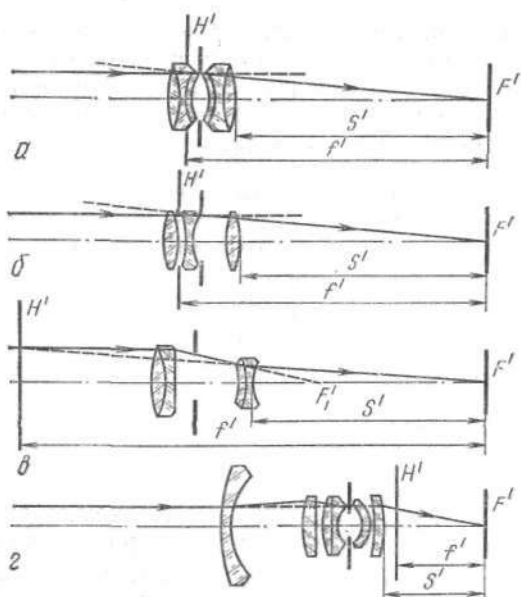


Рис. 16. Положение задней главной плоскости оптической системы:

a — симметричный объектив;
б — несимметричный объектив;
в — линзовый телеобъектив;
г — объектив с удлиненным задним отрезком

Фотометрические характеристики включают эффективное относительное отверстие; светосилу; характер изменения освещенности по полю изображения; коэффициенты виньетирования, светорассеяния и светопропускания, а также спектральный коэффициент пропускания.

Качество изображения определяют разрешающая способность, пограничная нерезкость и частотно-контрастная характеристика (функция передачи модуляции), величина остаточных aberrаций, децентровка линз объектива, глубина резкости.

Фокусное расстояние. Величина фокусного расстояния фотообъектива, как и любой другой положительной оптической системы, определяется расстоянием от ее передней или задней главной плоскости до соответствующего фокуса. Положение задних главных плоскостей H' , главных фокусов F' и фокусных расстояний f' , S' в объективах различной конструкции показано на рис. 16, *a* — *г*. Фокусное расстояние принято указывать в сантиметрах или миллиметрах.

Соотношение фокусного расстояния и диагонали кадра определяет следующую классификацию фотообъективов:

нормальные — фокусное расстояние близко по величине диагонали кадра;

широкоугольные — фокусное расстояние меньше диагонали кадра;

узкоугольные — фокусное расстояние больше диагонали кадра.

В фотоаппаратах общего назначения масштаб изображения находится в прямой зависимости от фокусного расстояния. Исключение составляет съемка в масштабе, большем единицы. Так, при макросъемке, с уменьшением фокусного расстояния объектива масштаб изображения увеличивается.

Фокусные расстояния нормальных фотообъективов, мм

Формат кадра	Фокусное расстояние
24×36	45—50
60×60	75—80
60×90 (65×90)	105—110
90×120	135—150
130×180	210—230
180×240	300—350

Примечание. Приведенные соотношения обеспечивают получение примерно одинакового охвата пространства съемки.

Широкоугольные объективы дают больший охват съемочного пространства и используются для съемок с близких расстояний и общим планом. Объективы этого типа имеют недостатки, выражающиеся в том, что при съемке близко расположенных объектов они вносят в изображение перспективные искажения, подчеркивая разномасштабность близких и более удаленных объектов, а также дают неравномерное освещение кадра, большее в центре и меньшее по краям.

Фокусное расстояние обычных длиннофокусных узкоугольных объективов в 1,5—2 раза больше диагонали кадра. Их применяют в основном для съемки объектов крупным планом. Поле, охватываемое этими объективами, небольшое. Способность длиннофокусных объективов давать резкое изображение в пределах небольшой глубины пространства (например, в плоскости лица) определила их широкое применение для портретной съемки, хотя по конструкции и характеру оптического рисунка они не относятся к группе портретных объективов.

Телеобъективы в отличие от обычных длиннофокусных объективов имеют небольшие габаритные размеры при большом фокусном расстоянии. Различают две группы телеобъективов: линзовые двухкомпонентные и зеркально-линзовые.

Линзовые телеобъективы имеют широко расставленные передний положительный и задний отрицательный компоненты (см. рис. 16, в). Благодаря отрицательному компоненту задняя главная точка в телеобъективах выносится за его пределы далеко вперед, что позволяет уменьшить длину оправы.

Зеркально-линзовые телеобъективы отличаются еще большей компактностью. Благодаря сложной системе линз 1, 4 (рис. 17) и зеркал 2, 3 луч света, многократно преломившись и отразившись, пройдет внутри телеобъектива сложный длинный путь, соответствующий величине фокусного расстояния.

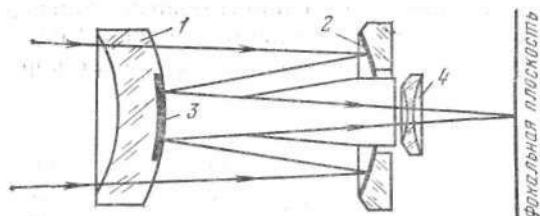


Рис. 17. Зеркально-линзовый объектив

При использовании объективов с *переменным фокусным расстоянием* отпадает необходимость применения сменных объективов с различным фокусным расстоянием, что обеспечивает большую оперативность в работе, позволяя при съемке быстро переходить от общих к крупным планам и наоборот. Предельные значения фокусного расстояния таких объективов указываются на их оправе (например, $f = 36 \dots 82$ мм). В зависимости от особенностей конструкции панкратические объективы делят на вариообъективы (составные телеобъективы) и трансфокаторы. Простейшие вариообъективы построены по принципу двухкомпонентных линзовых телеобъективов. Внутри раздвижной трубки в передней части устанавливается обычный объектив. Фокусное расстояние вариообъектива в известных пределах можно менять, изменяя расстояния между объективом и отрицательным компонентом. Более сложные и совершенные оптические системы вариообъективов состоят из большого числа оптических элементов, и изменение их фокусного расстояния обеспечивается путем перемещения внутренних компонентов (рис. 18).

Трансфокаторы входят в самостоятельную группу оптических систем с изменяемым фокусным расстоянием. Они представляют собой насадку переменного увеличения, устанавливаемую на объектив узкоплечного фото- или киноаппарата и позволяющего изменять его фокусное расстояние примерно в 3 раза.

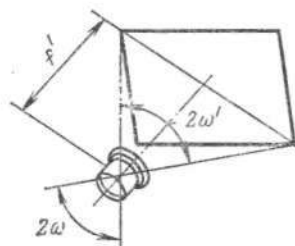
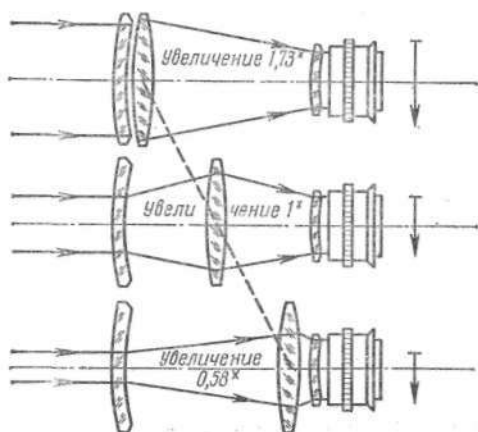


Рис. 19. Построение угла поля изображения объектива

← Рис. 18. Объектив с переменным фокусным расстоянием

Насадка имеет две неподвижные отрицательные линзы, между которыми перемещается положительная линза. Общее фокусное расстояние насадки и объектива определяется по формуле

$$f_{\text{общ}} = \Gamma f_{\text{об}},$$

где Γ — угловое увеличение; $f_{\text{об}}$ — фокусное расстояние объектива камеры.

Вершинное фокусное (задний отрезок) и рабочее расстояние. *Вершинное фокусное расстояние* отсчитывается от вершины задней линзы фотообъектива до его задней фокальной плоскости. У объективов, предназначенных для зеркальных фотоаппаратов, заднее вершинное фокусное расстояние увеличено, что обеспечивает возможность движения откидывающегося зеркала.

Рабочим расстоянием называется расстояние от опорной поверхности оправы фотообъектива до его задней фокальной плоскости. При подборе фотообъектива для работы эта величина имеет очень важное значение и должна быть такой же, как и рабочее расстояние фотоаппарата.

Угол поля изображения. Сторонами угла 2ω (рис. 19) являются два луча, проходящие через отверстие диафрагмы объектива и противоположные углы кадрового окна фотоаппарата. За пределами угла лежит изображение со значительно уменьшающейся резкостью и яркостью. Угол, ограничивающий края этого изображения, называется *углом поля зрения* фотообъектива. В объективах с неустраненной дисторсией поле изображения значительно меньше поля зрения и лежит внутри него; в объектах с исправленной дисторсией (ортоскопических объективах) угол поля зрения практически равен углу поля изображения. Угловое поле изображения определяется отношением диагонали кадра к фокусному расстоянию объектива:

$$2 \operatorname{tg} \omega' = g/f.$$

В зависимости от угла поля изображения объективы делятся на три группы: нормальные (с углом поля изображения 45° — 60°), широкоугольные (с углом поля изображения более 60°) и узкоугольные (с углом поля изображения менее 45°).

Светосила. Это способность объектива создавать определенную освещенность изображения в соответствии с яркостью отдельных деталей объекта съемки. Освещенность изображения зависит от величины действующего отверстия и фокусного расстояния объектива. *Действующее отверстие объектива* определяется диаметром входного зрачка $D_{\text{вх}}$, который представляет собой изображение диафрагмы ab (рис. 20), наблюдаемое через передний компонент объектива. Отношение диаметра D действующего отверстия к фокусному расстоянию f' объектива выражает его *геометрическое относительное отверстие*, т. е.

$$1/n_r = D/f',$$

где n_r — знаменатель геометрического относительного отверстия,

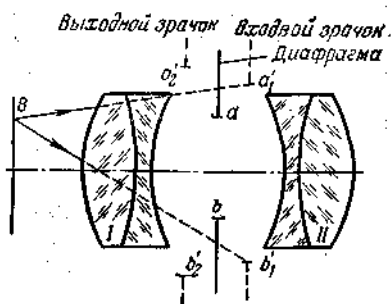


Рис. 20. Действующее отверстие объектива

Более точной характеристикой световых возможностей объектива является эффективное относительное отверстие, так как при прохождении света через оптические системы происходит его ослабление, зависящее от количества оптических деталей, наличия просветленной оптики и других факторов. Эффективное относительное отверстие объектива выражается зависимостью

$$1/n_{\text{эф}} = 1/n_t \sqrt{\tau},$$

где $n_{\text{эф}}$ — знаменатель эффективного относительного отверстия; τ — коэффициент светопропускания объектива.

Значения знаменателей эффективного относительного отверстия (или просто эффективных значений диафрагмы) нанесены на оправе объектива в виде ряда чисел, составляющих геометрическую прогрессию со знаменателем $\sqrt{2}$: 0,7; 1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32; 45 и 64. Допускается, что первое значение диафрагмы, проставляемое на объективе, может не соответствовать числам этого ряда (например, может быть 1,5; 3,5; 4,5).

Освещенность изображения прямо пропорциональна квадрату диаметра действующего отверстия и обратно пропорциональна квадрату фокусного расстояния объектива. При изменении значения диафрагмы на одну ступень (например с 4 до 5,6) освещенность изображения, так же как и светосила, изменяется в 2 раза. Исходя из этого, при сравнении светосил двух объективов сравнивают квадраты их относительных отверстий, а не сами относительные отверстия.

Например, объектив с относительным отверстием 1 : 2 светосильнее объектива 1 : 4 в 4 раза, так как

$$H_1/H_2 = (1/2)^2/(1/4)^2 = (1/4)/(1/16) = 4.$$

Светосилу объектива принято характеризовать по величине эффективного относительного отверстия. Различают светосилу геометрическую (или номинальную) и эффективную. Геометрическая светосила выражается квадратом относительного отверстия:

$$I_r = (D/f)^2.$$

В выражении для определения эффективной светосилы учитывается коэффициент светопропускания

$$I_{\text{эф}} = (D/f)^2 \tau.$$

Просветление оптики позволяет не только увеличить эффективную светосилу, но и улучшить качество фотонизображения;

уменьшить блики и приблизить интервал плотностей на негативе к интервалу яркостей объекта съемки. При просветлении оптики на поверхность линз наносят один или несколько слоев тончайшей пленки с определенным показателем преломления. Толщина этой пленки составляет $1/4$ длины волны лучей того цвета, к которому производится просветление оптики. При таком просветлении оптики поверхность линз в отраженном свете имеет голубой или фиолетовый оттенок. Просветляющее действие нанесенной на объектив пленки объясняется интерференцией света, отражаемого ее передней и задней поверхностями. В объективах с большим количеством линз и в объективах с лантановыми линзами нанесена более тонкая пленка, так как при большой общей толщине оптического стекла и просветляющих слоев наблюдается повышенное пропускание желтых лучей, что приводит к нарушению цветопередачи при цветной съемке. В отраженном свете поверхность линз объектива с более тонкой просветляющей пленкой имеет янтарный оттенок. Различают физические и химические способы просветления объектива. Первый получил более широкое распространение. Способ состоит в нанесении в вакууме на поверхность стекла пленки (слоя) фтористого магния, фтористого кальция, двуокиси титана и др. При химическом просветлении оптическое стекло обрабатывают уксусной или плавиковой кислотой и осаждают на него слой кремнезема. Травление вызывает изменение микроструктуры стекла, в результате чего на его поверхности образуется тонкий просветляющий слой. Влияние светорассеяния уменьшается также при использовании защитной бленды, надеваемой на объектив фотоаппарата при съемке (особенно против света).

Объективы по светосиле делятся на сверхсветосильные — $I_{эф} = 0,7 \dots 2$; светосильные — $I_{эф} = 2,8 \dots 4,5$; малосветосильные — $I_{эф} = 5,6$ и более.

При переходе от центра изображения к краям освещенность постепенно уменьшается из-за удлинения пути световых лучей, наклонного падения их и уменьшения зрачка для наклонных лучей (рис. 21).

Для уменьшения спада освещенности к краям изображения, особенно заметного у широкоугольных объективов, первую линзу этих объективов выполняют в виде большого отрицательного мениска (например, в объективе «Мир», сверхширокоугольном объективе «Руссар»).

По рисунку нетрудно заметить, что с увеличением угла наклона ω' пучки световых лучей ограничиваются оправой объектива и степень их виньетирования значительно увеличивается (т. е. умень-

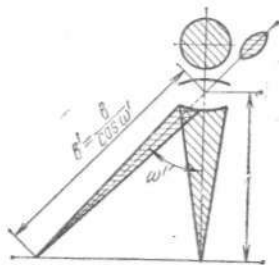


Рис. 21. Зрачок объектива и освещенность на краю поля

шается видимая площадь зрачка объектива). При уменьшении отверстия диафрагмы виньетирование уменьшается, так как ограничивается в основном диаметр лучей, входящих в объектив по осевой линии.

Положение входного и выходного зрачков. Изображение диафрагмы, наблюдаемое через передний компонент объектива, называется входным зрачком, а изображение диафрагмы, видимое через задний компонент, — выходным зрачком.

Фотометрические характеристики. Эффективное относительное отверстие. Более точной характеристикой световых возможностей фотографического объектива является не геометрическое, а эффективное относительное отверстие. Это связано с тем, что при прохождении света через оптические системы происходит большее или меньшее его ослабление, зависящее от числа оптических деталей, наличия просветления и т. п. Эффективное относительное отверстие объектива выражается в виде следующей дроби:

$$1/n_{\text{эф}} = 1/n_r / \sqrt{\tau},$$

где $n_{\text{эф}}$ — знаменатель эффективного относительного отверстия; n_r — знаменатель геометрического относительного отверстия; τ — коэффициент светопропускания объектива.

Характер изменения освещенности по полю изображения и коэффициент виньетирования. При переходе от центра изображения к краям освещенность постепенно уменьшается из-за удлинения пути световых лучей, наклонного падения их и уменьшения зрачка для наклонных лучей. С учетом этих факторов освещенность поля для наклонных пучков определяется по формуле

$$E_{\text{из}}^{\omega} = E_{\text{из}}^{\omega=0} K_{\omega} \cos^4 \omega,$$

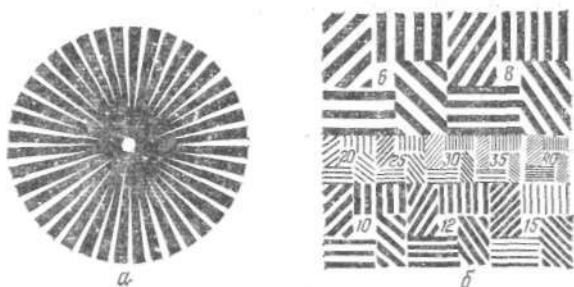
где $E_{\text{из}}^{\omega}$ — освещенность изображения на внеосевых точках; $E_{\text{из}}^{\omega=0}$ — освещенность в центре (на осевой линии) изображения; K_{ω} — коэффициент виньетирования; ω — угол между оптической осью объектива и осью, рисующей данную точку.

Коэффициент светорассеяния. Из-за многократных отражений света от поверхностей линз и оправы объектива и внутренней поверхности фотоаппарата на фотослое образуется так называемая паразитная засветка (светорассеяние), понижающая контраст изображения. Для уменьшения паразитной засветки фотообъективы просветляются, в результате чего коэффициент светорассеяния их не превышает 3 %. Влияние светорассеяния также уменьшается при использовании защитной бленды, надеваемой на объектив при фотосъемке (особенно при съемке против света). Коэффициент светорассеяния, %

$$S = E_o / E_{\phi} 100,$$

где E_o — освещенность изображения абсолютно черного объекта на белом фоне; E_{ϕ} — освещенность изображения белого диффузно отражающего фона.

Рис. 22. Радиальная
(а) и линейная (б)
миры



Коэффициент светопропускания. Этот коэффициент характеризует потери света при прохождении его через толщу стекла линз и отражении от их поверхности и выражается формулой

$$\tau = (1 - \rho)^N (1 - a)^l,$$

где ρ — коэффициент отражения от стекла; a — коэффициент поглощения на 1 см толщины стекла; N — число поверхностей стекла (без учета поверхности склеенных линз); l — общая толщина всех линз, см

При практических расчетах коэффициент пропускания на каждый сантиметр толщины стекла принимается равным 0,01, коэффициент отражения от стекла — 0,05, от зеркальной поверхности при серебрении — 0,93, при алюминировании — 0,85. Коэффициент светопропускания современных отечественных объективов равен 0,75—0,85 и более.

Спектральный коэффициент пропускания. Этот коэффициент определяют по графику зависимости пропускания одноцветных излучений τ_λ (%), от длин волн λ этих излучений.

Разрешающая способность. Это способность объектива передавать мелкие детали в фотоизображении; выражается максимальным числом штрихов (линий) и промежутков на 1 мм в центре и на краю фотоизображения. На рис. 22 приведена испытательная мира, оптические изображения которой получают с помощью испытуемого объектива. Различают визуальную и фотографическую разрешающую способность. *Визуальную разрешающую способность* определяют, рассматривая оптическое изображение миры через микроскоп. *Фотографическая разрешающая способность* имеет большое практическое значение и определяется путем фотографирования чита с несколькими испытательными таблицами — мирами.

В состав оптического стекла, применяемого для изготовления линз некоторых объективов, начали вводить окись лантана* (лантановые объективы), что позволило увеличить разрешающую способность примерно в 1,5 раза.

* Лантан — редкоземельный химический элемент III группы периодической системы Д. И. Менделеева.

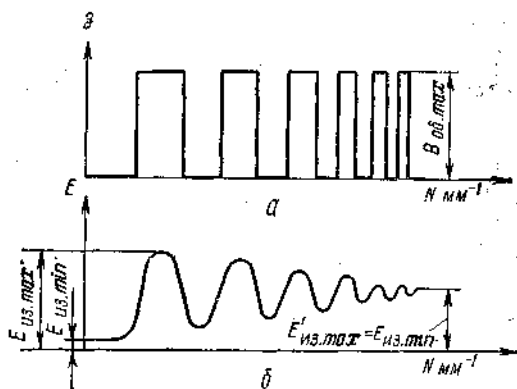


Рис. 23. Частотно-контрастная характеристика: а — изменение частоты линий в тест-объекте с прямоугольной решеткой (мире); б — изменение освещенности в изображении тест-объекта, создаваемое объективом

Функция передачи модуляции. Выражает зависимость контрастности фотонизображения, даваемого объективом, от величины отдельных деталей объекта. Для того чтобы вывести эту зависимость, применяют специальные штриховые миры (решетки) с закономерно изменяющейся шириной штрихов и промежутков. При отражении света от миры с нарастанием числа штрихов в 1 мм по оси N (рис. 23, а) интенсивность амплитуды светового потока (ось B) остается неизменной. Решетки со ступенчатой разницей яркостей штрихов и промежутков называют *прямоугольными*, а с плавным изменением яркости — *синусоидальными* (рис. 23, б).

Функцию передачи модуляции исследуемого объектива определяют с помощью фотонизображения миры. Затем с помощью микрофотометра, позволяющего производить измерения на очень небольших по площади участках, определяют уменьшение амплитуды штрихов с увеличением их частоты.

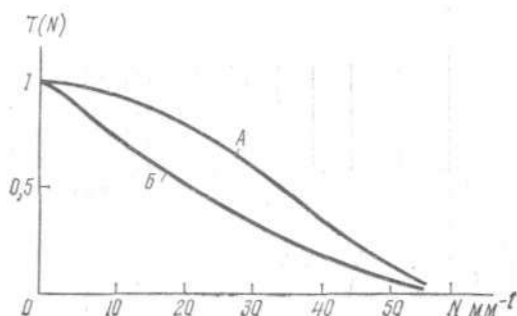
Приведем тест-объект (см. рис. 23) с прямоугольной решеткой и график изменения освещенности в его изображении $E_{из}$, полученном с помощью объектива. Как следует из графика, контрастность фотонизображения, даваемого объективом, зависит от величины деталей объекта. Коэффициент передачи модуляции T при частоте N определяют по формуле

$$T(N) = K_{из}/K_{об},$$

где $K_{из}$ — контраст изображения; $K_{об}$ — контраст объекта.

Построим графики функции передачи модуляции объективов (рис. 24). Из них видно, что объектив А по функции передачи модуляции лучше объектива Б, хотя оба они имеют одинаковую разрешающую способность. Она может быть найдена на всех стадиях фотопроцесса от получения оптического изображения до получения отпечатка. Общую характеристику всей изображающей системы находят умножением отдельных функ-

Рис. 24. График функции передачи модуляции объективов



ций передачи модуляции съёмочного объектива, негативного фотоматериала, объектива фотоувеличителя, фотобумаги и т. д.

Глубина резкости. Это способность объектива давать практически резкое изображение предметов, находящихся от него на различных расстояниях. С максимальной резкостью могут быть переданы предметы, находящиеся только в одной плоскости предметного пространства. Точка A (рис. 25) передается резко в положении A', точка B — в положении B', точка C — в положении C'. При смещении плоскостей на расстояние δ резкость ухудшается и изображение точек будет в виде кружков, называемых *кружками рассеивания*, или *кружками нерезкости*. Если диаметр кружка нерезкости $d < 0,1$ мм, то при рассматривании изображения на нормальном для глаза удалении кружок будет восприниматься в виде точки. Таким образом, глубина резкости не связана с разрешающей способностью глаза, и плоскость резкого изображения может быть смещена на некоторое расстояние без заметного ухудшения качества изображения, т. е. до тех пор, пока диаметр кружков рассеивания не превысит 0,1 мм. Этому смещению соответствуют в предметном пространстве сопряженные плоскости A и C, расстояние между которыми называется *глубиной резко изображаемого пространства*. Все предметы, расположенные между этими плоскостями, передадутся на изображении резкими. При диафрагмировании объектива — изменении величины D (рис. 26) диаметр d кружков нерезкости уменьшается. Это дает возмож-

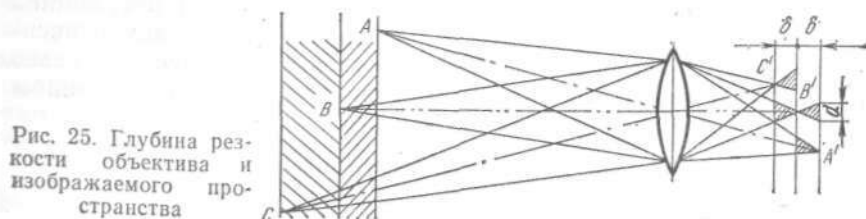


Рис. 25. Глубина резкости объектива и изображаемого пространства

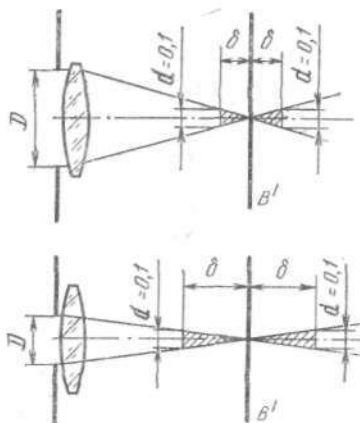


Рис. 26. Влияние диафрагмирования объектива на глубину резкости изображаемого пространства

ность увеличить смещение δ плоскости резкого изображения, т. е. увеличить глубину резко изображаемого пространства. Считается, что допустимый диаметр кружка рассеяния на негативах, предназначенных для контактной печати, может составлять 0,1 мм, а на негативах для проекционной печати — не более 0,03 мм.

Если при наводке на резкость установить объектив на гиперфокальное расстояние*, то передняя граница резкости приблизится к нему наполовину этого расстояния, а задняя граница останется в бесконечности. В связи с этим при съемке больших пространств объектив ставят не на бесконечность, а на гиперфокальное расстояние.

На основе расчетов составляют таблицы глубины резко изображаемого пространства, которые приведены в справочниках и инструкциях.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы: при уменьшении относительного отверстия объектива глубина резкости увеличивается; чем меньше фокусное расстояние объектива, тем больше глубина резкости. Плоскость наводки на резкость располагается ближе к передней границе резко изображаемого пространства, чем к задней.

Расстояние и необходимую диафрагму при съемке различных удаленных предметов определяют с помощью *шкалы глубины резкости*, сопряженной со шкалой расстояний. Этими шкалами снабжается большинство объективов.

Шкала относительных отверстий нанесена на фокусирующее кольцо объектива и при наводке на резкость передвигается вдоль шкалы расстояний (рис. 27). Шкала значений относительных отверстий имеет треугольную риску-указатель и симметрично расположенные с двух сторон от этой риски штрихи с обозначениями в числах относительных отверстий. Эти шкалы позволяют получить следующие данные: расстояние наводки объектива при заданных относительном отверстии и границах глубины резко изображаемого пространства; величину относительного отверстия для получения требуемой глубины резко изображаемого пространства; расстояние от объектива границы

* Гиперфокальное расстояние (или начало бесконечности), т. е. расстояние от объектива до самого далекого предмета, изображаемого практически резко при установке объектива не на бесконечность.

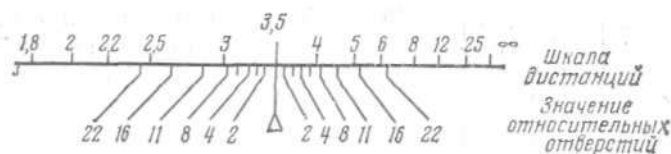


Рис. 27. Шкала глубины резко изображаемого пространства

глубины резко изображаемого пространства при известном относительном отверстии до объекта.

На рисунке видно, что если объектив установлен на расстоянии 3,5 м, то при относительном отверстии 1:8 границы глубины резко изображаемого пространства будут располагаться от него на расстоянии 3 и 4 м и все предметы, находящиеся в этом промежутке, передадутся с допустимой степенью резкости. На этом принципе основано получение и других данных, перечисленных выше.

§ 5. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И МЕХАНИЗМЫ ФОТОАППАРАТОВ

Рассмотрим дальномерный фотоаппарат «Зоркий-4К». Он состоит из лимба 1 (рис. 28), счетчика кадров, курка 2, перемотки фотопленки и взвода затвора, штекерного гнезда 3 синхронизатора (синхроконтакта), спусковой кнопки 4, головки 5 установки времени экспонирования фотоматериала, входного окна 6 дальномера, входного окна 7 видоискателя-дальномера, головки 8 обратной перемотки фотопленки, рычага 9 диоптрийной наводки видоискателя-дальномера по глазу, пусковой кнопки 15 автоспуска, рычага 14 взвода автоспуска.

Объектив состоит из водкового кольца 13 фокусировки, шкалы 12 диафрагм; шкалы 11 расстояний; шкалы 10 глубины резко изображаемого пространства. В фотоаппаратах более простых конструкций могут отсутствовать те или иные из приведенных узлов и, наоборот, более совершенные фотоаппараты (общего назначения) оснащены различными устройствами, автоматизирующими съемочные операции (установку экспозиции, наводку на резкость). Оправа объектива

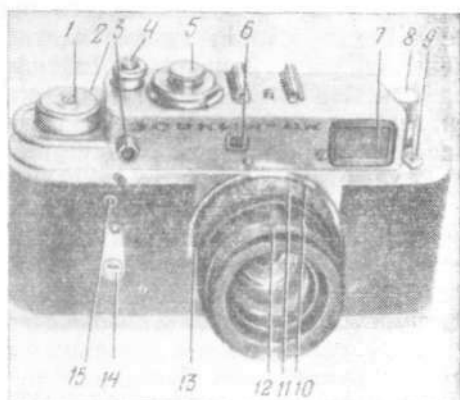


Рис. 28. Основные узлы и механизмы дальномерного фотоаппарата «Зоркий-4К»

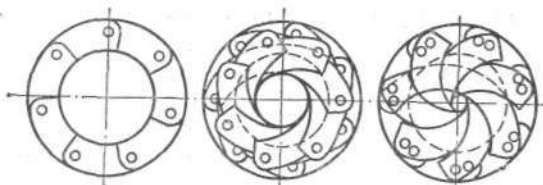


Рис. 29. Ирисовые диафрагмы

делит системы линз на две основные группы: переднюю и заднюю. Различают следующие типы оправ: нормальные, нормальные углубленные, с центральным затвором, с червячным ходом, заблокированные с дальномером.

Примером объективов с *нормальной* оправой являются объективы, которые устанавливают на фотоаппаратах с мехом (например, объективы павильонных фотоаппаратов). *Углубленная* оправа частично выходит наружу, а остальная ее часть находится внутри фотоаппарата. Оправа с затвором включает механизм центрального затвора. Оправа с *червячным ходом* позволяет поворотом специального кольца перемещать объектив вдоль оптической оси и производить наводку на резкость. Оправа, *блокированная с дальномером*, имеет червячный ход, обеспечивающий наводку на резкость. При этом специальное устройство позволяет контролировать по дальномеру точность наводки.

Объектив прикрепляется к фотоаппарату резьбовым, адаптерным или штыковым (байонетным) способом. Наибольшее распространение получил резьбовой способ крепления, при котором объектив ввинчивается в фотоаппарат. При адаптерном способе объектив крепится на фотоаппарат с помощью стягивающего кольца. При штыковом способе объектив вставляется в фотоаппарат и закрепляется небольшим поворотом по часовой стрелке. На переднюю часть оправы можно надевать или навинчивать съемочные светофильтры и солнцезащитные бленды. На оправе объектива указывается его название, относительное отверстие, характеризующее светосилу, фокусное расстояние [например, «Индустар-61М» (2,8/50)].

Диафрагмы. Диаметр сечения пучка света, проходящего через объектив, изменяется вмонтированной в его оправу диафрагмой, которая располагается между компонентами объектива. Существует несколько типов диафрагм, но наиболее широкое распространение в объективах общего назначения получили так называемые *ирисовые* диафрагмы (рис. 29), представляющие собой систему подвижных лепестков (ламелей). При повороте ведущего (установочного) кольца или рычажка лепестки сходятся, вследствие чего уменьшается образуемое ими отверстие. Этот процесс называется диафрагмированием. В некоторых объективах применяют револьверные и вставные диафрагмы. *Револьверная* диафрагма имеет вид поворотного

диска с различными по диаметру отверстиями, изменяющими диаметр пучка света, проходящего через объектив. *Вставные диафрагмы* представляют собой набор пластин с отверстиями, которые вставляют в специальную прорезь в оправе объектива.

Фотографический затвор. Затвором называют механизм, позволяющий регулировать продолжительность прохождения света через объектив при съемке. Продолжительность отмериваемого затвором времени экспонирования составляет обычно доли секунды. Государственным стандартом установлен следующий ряд времени экспонирования отечественных фотоаппаратов: 1; 1/2; 1/4; 1/8; 1/15; 1/30; 1/60; 1/125; 1/250; 1/500; 1/1000. Затвор может открываться от руки (при нажмении на спусковую кнопку или рычаг затвор открывается, а при освобождении ее закрывается). Имеются затворы, позволяющие открывать объектив на длительное время экспонирования (при первом нажмении на спусковую кнопку затвор открывается, а при втором нажмении закрывается). Буквой В на регуляторе затвора обозначают время экспонирования от руки, а буквой Д — длительное время экспонирования. В простейших затворах, где имеется только одно короткое время экспонирования, его обозначают на регуляторе буквой М (моментальное). Короткое время экспонирования принято обозначать знаменателем дроби (например, 30, 60, 125 и т. д.).

Существует несколько типов затворов. Основные типы затворов: центральные, шторно-щелевые и затворы-жалюзи. Первые два типа затворов применяют в фотоаппаратах, а третий — в некоторых конструкциях автоматических приборов для печати снимков и в фотоаппаратах для специальных съемок.

Затвор состоит из двух основных элементов: механизма затвора и шторок, перекрывающих свет. Механизм затвора имеет приводное устройство, передающее усилие заводной пружины или другого источника энергии на шторки или лепестки; тормозное или какое-либо иное устройство, регулирующее продолжительность времени экспонирования; спусковое устройство, приводящее затвор в действие. Кроме основных узлов имеются и другие узлы, носящие вспомогательные функции и обеспечивающие переключение затвора на различные режимы работы. Дистанционное управление спусковой кнопкой может осуществляться с помощью гибкого тросика или специального электромагнитного устройства, осуществляющего спуск затвора при замыкании контакта на конце провода-удлиателя, выполняющего роль тросика.

В последние годы появились конструкции специальных спусковых устройств, работающих с небольшим радиопередатчиком, с которого подается сигнал для съемки. Фотоаппарат может иметь приставку с реле, которое автоматически делает серию съемок через заданные промежутки времени. Фотопленка при этом перематывается автоматически.

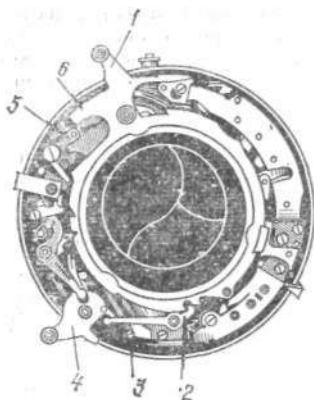


Рис. 30. Центральный затвор

Шторки затвора могут располагаться между компонентами объектива вблизи плоскости диафрагмы (центральные затворы фотоаппаратов «Искра», «Любитель»), позади объектива (центральные залинзовые затворы фотоаппаратов «Смена-8М», «Смена-Рapid» и др.) и непосредственно перед светочувствительным слоем (шторно-щелевые затворы фотоаппаратов «Зенит-Е», «Зенит-В», «Киев» и др.).

Центральные затворы бывают полуавтоматические и автоматические. Полуавтоматические затворы требуют предварительного взвода перед каждым экспонированием, а автоматические в таком взводе не нуждаются и срабатывают сразу при нажатии на спусковую кнопку. Название затворов показывает, что объектив открывается от центра к краям и закрывается в обратном порядке. Механизм и створки этих затворов смонтированы внутри корпуса объектива (створки могут располагаться и за объективом). Число створок обычно не превышает пяти. Приведение затвора в рабочее состояние, т. е. его взвод, осуществляется заводным рычагом, соединенным с кольцом 1 (рис. 30), который натягивает пружину 3. Заведенное кольцо удерживается защелкой 2. При съемке нажимают на рычаг 4, который разъединяет защелку и заводное кольцо. Под действием пружины заводное кольцо поворачивается и опирается кулачком 6 на рычаг 5. С этим рычагом связано кольцо-кулиса, которое открывает лепестки затвора. Время экспонирования регулируется специальным механизмом — анкерным регулятором, который обеспечивает необходимое торможение заводного кольца при спуске.

Центральные затворы могут иметь все скорости действия, предусмотренные государственным стандартом. Преимуществом затворов с лепестками между линзами по сравнению с залинзовыми затворами является то, что они при работе экспонируют одновременно всю поверхность фотослоя в пределах кадрового окна фотоаппарата.

Центральные затворы конструктивно связаны с объективом, поэтому при смене объективов в фотоаппаратах с такими затворами нецелесообразно, так как каждый объектив должен иметь свой затвор. Некоторые фирмы выпустили фотоаппараты с центральными залинзовыми затворами, в которых можно использовать сменные объективы. Створки и механизм таких затворов укреплены не в корпусе объектива, а на передней стенке фотоаппарата. В конструкции затворов некоторых фотоаппаратов функции лепестков выполняет диафрагма. Объединение лепестков диафрагмы и затвора позволило уменьшить моментальное время экспонирования при малых относительных отверстиях объектива, так как при съемке лепестки раскрываются в таких затворах не полностью, а только до заданного значения относительно отверстия и снова закрываются. Одновременно с этим увеличивается и коэффициент по-

лезного действия (КПД) затвора. Такую конструкцию имеет затвор в фотоаппарате «ФЭД-микро», диапазон времени экспонирования которого от $\frac{1}{30}$ до $\frac{1}{800}$ с при автоматическом управлении экспозицией (величина времени экспонирования и диафрагмы регулируется автоматически в зависимости от яркости объекта съемки).

Шторно-щелевые затворы имеют светонепроницаемую шторку со щелью, проходящей кадровым окном фотоаппарата, что обеспечивает экспонирование фотоматериала. При работе затвора щель продвигается или вдоль кадра, или сверху вниз. Взвод затвора заблокирован с механизмом перемотки фото пленки. Длительность времени экспонирования регулируется путем изменения ширины щели, что дает возможность получать более короткое время экспонирования по сравнению с центральными затворами. У некоторых фотоаппаратов время экспонирования регулируется путем изменения скорости движения шторки, а ширина щели при этом остается постоянной. Примером фотоаппарата с таким затвором может служить фотоаппарат «Киев-Вега».

Шторно-щелевой затвор имеет две светонепроницаемые эластичные шторки 6 и 9 (рис. 31). Первая шторка 6 наматывается на рабочий валик 5 со скручивающейся пружиной внутри. При помощи тесемок 2 и 8 один конец этой шторки прикреплен к шкивам 1. Вторая шторка 9 прикреплена одним концом к свободно вращающемуся барабану 10, а вторым с помощью тесемок 3 и 7 — ко второму рабочему валику 4. В этот валик вмонтирована пружина. При взводе затвора шторки, перекрывая друг друга и изолируя тем самым фотоматериал от света, наматываются на барабан 10, а тесемки — на шкивы 1. При нажатии на спусковую кнопку и срабатывании затвора барабан 10 освобождается и валики 5 и 4, поворачиваясь, перематывают шторки. При этом между концами шторок образуется щель, через которую свет поступает на фотослой. Ширина этой щели регулируется тесемками и зависит от установленного времени экспонирования. Шторки затворов изготавливают из прорезиненной шелковой ткани (фотоаппараты ФЭД, «Зоркий», «Зенит» и др.), или из очень тонкой стальной ленты. Шторки могут быть выполнены в виде ряда профилированных и шарнирно соединенных между собой металлических полос (фотоаппарат «Киев»). Замена ткани металлическими шторками вызвана тем, что прорезиненные шелковые шторки теряют эластичность при низких температурах и менее точно воспроизводят короткое время экспонирования, а иногда перестают действовать совсем.

В фотоаппаратах со шторно-щелевым затвором в зависимости от направления и скорости движения объекта съемки и шторки фотоизображение может получиться или несколько растянутым, или сплюснутым.

В некоторых фотоаппаратах устанавливают всерные затворы (фотоаппарат «Киев-10»), являющиеся разновидностью шторно-

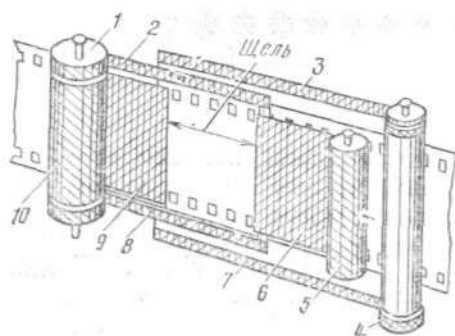


Рис. 31. Шторно-щелевой затвор

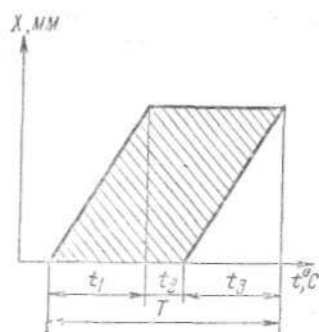


Рис. 32. График действия шторно-щелевого затвора

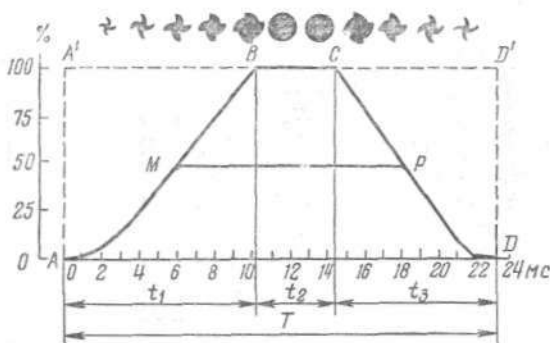
щелевых затворов. Веерный затвор имеет две заслонки, содержащие по три складывающихся в виде веера металлических лепестка. При работе лепестки одной из заслонок складываются, а лепестки другой расходятся. При этом между крайними лепестками заслонок образуется щель, через которую проходит свет на фотослой. Механизм шторно-щелевых затворов установлен вне объектива, фотоаппараты с такими затворами можно легко комплектовать дополнительными объективами. В случае использования при съемке электронно-импульсных осветителей время экспонирования шторно-щелевого затвора не должно превышать $1/30$ — $1/60$ с, так как только при этом времени экспонирования затвор полностью раскрывает кадровое окно фотоаппарата в момент световой вспышки.

Работа шторно-щелевых затворов на коротких и длительных временах экспонирования характеризуется графиками, которые отображают время работы затвора и путь, проходимый шторкой (рис. 32). Площадь параллелограмма пропорциональна экспозиции, полученной фотослоем при различных временах экспонирования.

Важнейшими характеристиками затворов являются: диапазон времен экспонирования, предельные значения расчетных эффективных времен экспонирования, коэффициент полезного действия, равномерность экспонирования по кадру. Время срабатывания центрального затвора (полное время работы затвора) складывается из трех фаз: времени, идущего на открывание створок затвора t_1 , продолжительности полезного их открывания t_2 и времени закрывания створок t_3 , т. е. $T = t_1 + t_2 + t_3$.

На рис. 33 приведен график действия одного из центральных затворов. На горизонтальной оси показана продолжительность действия затвора T , а на вертикальной оси — степень его раскрытия в процентах величины полного отверстия. Фигура $ABCD$ характеризует работу центрального затвора. При этом эффективное время действия затвора $t_{эф}$ будет выражаться средней ли-

Рис. 33. График действия центрального затвора



нией MP и может быть найдено по формуле

$$t_{\text{эф}} = (T + t_2)/2.$$

Коэффициент полезного действия затвора определяют по формуле

$$\text{КПД}_{\text{затв}} = t_{\text{эф}}/T.$$

Шторно-щелевые затворы имеют значительно больший КПД по сравнению с центральными затворами. У центральных затворов время, затрачиваемое на открывание и закрывание створок, постоянно, а при изменении времени экспонирования меняется только продолжительность их полного раскрытия, что приводит к непостоянству КПД. При коротких временах экспонирования он снижается до 50—60 % и при длительных повышается до 90, а иногда и до 95 %.

Недостаточная равномерность экспонирования может быть как у центральных, так и у шторно-щелевых затворов. При этом в центральных затворах неравномерность экспонирования имеют только заливные затворы. Как известно, определенное время в центральных затворах затрачивается на открывание и закрывание шторок. Свет, прошедший через объектив закрывается шторками, находящимися за ним, и центральная часть кадра при срабатывании затвора будет освещена более продолжительное время по сравнению с краями.

Неравномерность экспонирования кадра в фотоаппаратах со шторно-щелевыми затворами связана с неравномерностью движения шторок. При работе таких затворов скорость движения шторки от начала до конца кадра возрастает до 1,5 раза.

Кроме затворов, приводимых в действие пружинной, имеются также *электронные* затворы с электролитическим конденсатором, электромагнитами, сопротивлениями и питающими миниатюрными батарейками. От емкости конденсатора зависит время его зарядки и связанная с этим длительность экспозиции. Принцип действия электронного затвора заключается в следующем: при нажатии на спусковую кнопку специальная пружина откидыв-

вает створки, открывая затвор. Створки захватываются электромагнитом, и затвор остается открытым до тех пор, пока не зарядится полностью конденсатор. Зарядившись, конденсатор отключает электромагнит, створки отпускаются и закрывают затвор. Продолжительность зарядки конденсатора и величина времени экспонирования регулируются включенным в его цепь переменным сопротивлением. Электронные затворы имеют большой набор различного времени экспонирования. У многих современных фотоаппаратов есть *автоспуск* — механизм, приводящий затвор в действие после определенного промежутка времени. Фотоаппараты снабжены также *синхроконтактом* — устройством, обеспечивающим зажигание электронно-импульсного осветителя или лампы-вспышки точно в момент полного раскрытия шторок затвора.

Наводка на резкость. Наиболее широкое распространение получили три способа наводки на резкость: по шкале расстояний или по символам (глазомерный), по матовому стеклу (визуальный) и с помощью дальномера (дальномерный).

Наводку на резкость по *шкале расстояний* осуществляют путем предварительного определения расстояния до объекта съемки и установки этого расстояния на шкале расстояний объектива (совмещают индекс с расстоянием на шкале). Достаточно точное расстояние до объекта можно измерить или определить специальным прибором — дальномером (например, дальномером «Блitz»). Такой способ наводки применяется в основном в простых моделях фотоаппаратов. Вместе с тем все фотоаппараты с другими способами наводки на резкость имеют также и шкалу расстояний, что позволяет в случае необходимости произвести взаимный контроль наводки. Высокую точность глазомерных измерений расстояния не всегда можно гарантировать, фотонизображение в большинстве случаев получается достаточно резким за счет глубины резкости. Такой вид наводки на резкость широко применяется при съемках спортивных состязаний.

Для фотолюбителей на шкале расстояний и шкале диафрагм некоторых фотоаппаратов нанесены специальные отметки — красные точки. Установив по ним значения диафрагмы и расстояние, получают очень большую глубину резкости, что обеспечивает удовлетворительную резкость предметов, находящихся от фотоаппарата на расстоянии от 4 м до бесконечности (красные точки соответствуют расстоянию 8 м и относительному отверстию объектива 1:9).

Разновидностью способа наводки на резкость по шкале расстояний является наводка по символам. Этот способ отличается от предыдущего тем, что шкала расстояний не градуируется в метрах; на ней ставится несколько условных символов (например, «портрет», «группа», «пейзаж»), которые соответствуют съемкам с расстояний примерно 1,7; 4 и 7 м. Если тот или иной

вид съемки не соответствует этим отметкам, то расстояние может быть установлено на шкале между символами. При сильном диафрагмировании границы глубины резкости перекрывают эти расстояния, что также предупреждает появление нерезких снимков. В качестве примера с наводкой по символам можно назвать фотоаппараты «Восход», «Зоркий-11», «Смена-Рapid».

Наводка на резкость *по матовому стеклу* применяется в павильонных и зеркальных фотоаппаратах. В павильонных фотоаппаратах устанавливают в кассетной части специальную рамку с матовым стеклом и ведут по нему наблюдение за резкостью изображения. При этом регулируют резкость, т. е. совмещают плоскость изображения с матированной поверхностью стекла путем изменения расстояния между объективом и матовым стеклом, перемещая для этого с помощью кремальеры кассетную (заднюю) часть фотоаппарата вдоль оптической оси объектива. Передняя (объективная) часть павильонных фотоаппаратов подвижна вдоль оптической оси. Однообъективные зеркальные фотоаппараты имеют сравнительно сложную оптическую систему, состоящую из зеркала 1 (рис. 34), коллективной линзы 2, объектива 3, матового стекла 4 (рис. 34, а), или плоской поверхности коллективной линзы, фокусировочных клиньев 5 (рис. 34, б), плоскости 6 резкого изображения, микроаэра 7 (рис. 34, в), ступенчатой линзы 8 (линзы Френеля).

В зеркальных фотоаппаратах (рис. 35) между фотопленкой и объективом под углом 45° к его оптической оси располагается откидывающееся зеркало, направляющее изображение вверх на матовое стекло. При этом на матовом стекле получается прямое зеркально обращенное изображение. Для удобства визирования изображения такие фотоаппараты имеют пентапризму с крышей, позволяющую наблюдать прямое изображение. Зеркальные однообъективные фотоаппараты имеют малый или средний фор-

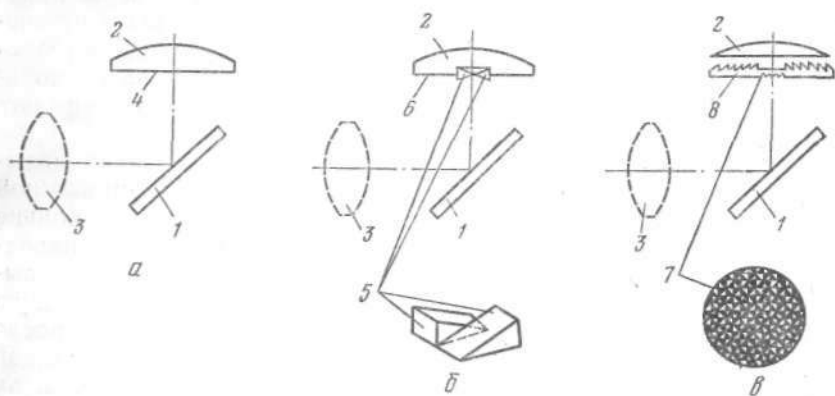


Рис. 34. Фокусировочные устройства зеркальных фотоаппаратов: а — с матовым стеклом; б — с клиновым устройством; в — с микроаэром

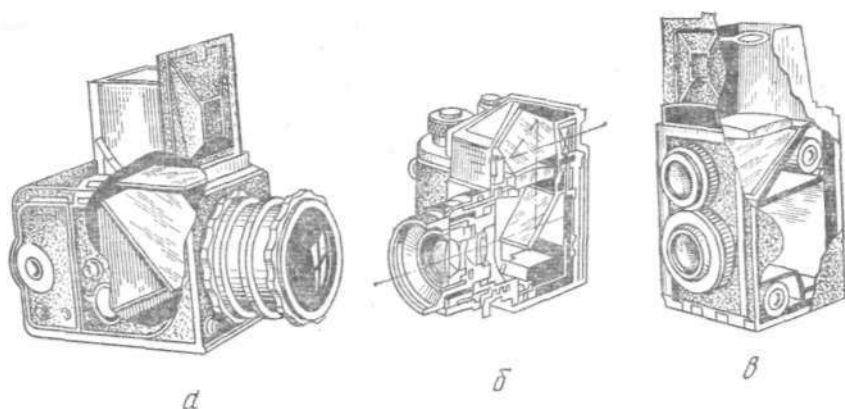


Рис. 35. Модели зеркальных фотоаппаратов:

а — однообъективный фотоаппарат «Салют» с шахтой; *б* — однообъективный фотоаппарат «Зенит» с пентапризмой; *в* — двухобъективный фотоаппарат «Любитель-2» с шахтой

мат изображения. В них используется рулонная фотопленка шириной 61,5 (фотоаппараты «Киев-6С», «Салют») или 35 мм (фотоаппараты типа «Зенит», «Киев-10» и др.).

В зеркальных однообъективных фотоаппаратах можно применять любые объективы, в том числе объективы с переменным фокусным расстоянием. Этими фотоаппаратами часто пользуются при репродукционной съемке, при микро- и макросъемках. Объектив в зеркальных однообъективных фотоаппаратах диафрагмируют после наводки на резкость, так как при визировании изображения его яркость должна быть достаточно большой. При диафрагмировании после наводки расстояние до объекта может сбиться, особенно если объект движется. Этот недостаток зеркальных фотоаппаратов частично устранен в объективах с предварительной установкой требуемого значения диафрагмы на специальном кольце на объективе. При этом наводку на резкость осуществляют при полностью открытом объективе, а затем кольцо диафрагмы, не глядя, поворачивают до упора и снимают объект.

Очень удобны диафрагмы нажимного действия и так называемые прыгающие диафрагмы. Принцип действия нажимной диафрагмы состоит в следующем: на установочном кольце объектива задается требуемое значение диафрагмы. При наводке на резкость объектив открыт полностью. Диафрагма закрывается до установленного значения при нажмении на спусковую кнопку, заблокированную с ее управляющим механизмом, и после этого сразу срабатывает затвор. При освобождении спусковой кнопки диафрагма опять полностью раскрывается. Прыгающая диафрагма по принципу действия очень напоминает нажимную. Она закрывается (прыгает) на требуемое значение при нажмении

на спусковую кнопку. Разница состоит в том, что при освобождении кнопки диафрагма не возвращается в исходное положение и ее надо открыть, повернув кольцо на объективе.

Современные зеркальные однообъективные фотоаппараты снабжаются зеркалом постоянного визирования, закрывающим визирное устройство только на момент срабатывания затвора и вновь возвращающимся в исходное положение (фотоаппараты «Зенит-В», «Зенит-Е», «Киев-10» и др.).

Для облегчения наводки на резкость некоторые фотоаппараты имеют клиновое устройство, состоящее из двух клиньев Додена, установленных в небольшом круглом углублении в центральной части матового стекла. Видимый в визирном устройстве круг клинового устройства делит изображение по горизонтали на две части, и при неточной наводке на резкость вертикальные линии объекта расходятся. При наводке на резкость положение клиньев относительно объектива изменяется, что приводит к совмещению ранее разделенных пополам вертикальных линий объекта съемки. При отсутствии вертикальных линий наводить на резкость можно путем поворота фотоаппарата на 90° (вертикальный кадр) или по матовому стеклу за пределами клинового устройства (фотоаппараты «Салют», «Старт» и др.).

Другое устройство, облегчающее наводку на резкость, носит название микрорастра. Он имеет вид круга в центре матового стекла. Круг разделен на большое количество трехгранных призм, ориентированных в различных плоскостях. Микрорастр представляет собой тонкую пластинку из оргстекла с призмами, выдавленными методом горячего прессования. Объект съемки на микрорастре виден резким только в тот момент, когда плоскость его изображения точно проходит через вершины призм. В противном случае из-за размытости изображения резкость его на микрорастре падает значительно сильнее, чем на матовом стекле. Микрорастр имеют фотоаппараты «Киев-10» и «Зенит ТТЛ».

В связи с тем, что клиновое устройство и микрорастр не позволяют определить степень глубины резкости, вокруг них оставляют пространство матового стекла, по которому производят эти определения. За пределами матового стекла располагается линза Френеля, дающая высокую яркость изображения и облегчающая точный выбор кадра и его выразительную компоновку при съемке.

Зеркальные двухобъективные фотоаппараты имеют два объектива, расположенных один над другим, верхний — визирный, нижний — съемочный. Позади верхнего объектива располагается зеркало, отбрасывающее изображение вверх на линзу прямоугольной формы. Получаемое на ней изображение прямое, но перевернуто слева направо. Наводят на резкость по матовому стеклу, расположенному в центральной части прямоугольной линзы. Для облегчения наводки перед матовым стеклом имеется откидывающаяся лупа. Верхний объектив более прост по схеме

по сравнению со съёмочным. Он имеет большую светосилу и не диафрагмируется, что обеспечивает постоянную высокую яркость визируемого изображения. Двухобъективный фотоаппарат позволяет заранее подготовиться к съёмке, установить диафрагму и требуемую экспозицию, взвести затвор и после выбора кадра и наводки на резкость моментально произвести съёмку.

К недостаткам двухобъективных зеркальных фотоаппаратов относится некоторое несовпадение изображений, даваемых верхним и нижним объективами из-за того, что они расположены на некотором расстоянии друг от друга, называемом базисом. Невпадение изображений называется параллаксом.

При съёмке предметов, находящихся на больших расстояниях от фотоаппарата, влияние параллакса не сказывается. При съёмке с малых расстояний объект может быть виден полностью через верхний объектив в видоискателе, а на фотослой он может спроецироваться не полностью, т. е. часть его срежется кадровыми рамками фотоаппарата.

Для устранения влияния параллакса на стекле видоискателя наносятся тонкие рамки и штрихи, являющиеся границами кадра при съёмке с различных расстояний. На стекле видоискателя сверху может быть размещена специальная передвигающаяся металлическая рамка, которая ставится в определенное положение при съёмке с различных расстояний. Применяются и другие способы устранения влияния параллакса при съёмке двухобъективными фотоаппаратами.

Ведутся работы по упрощению и по полной автоматизации процесса наводки на резкость. К фотоаппаратам с упрощенной системой фокусировки относятся: фотоаппараты с жестко встроенными объективами, установленными постоянно на одно (обычно гиперфокальное) расстояние; фотоаппараты с несколькими спусковыми клавишами для различных расстояний.

Разработаны съёмочные фото- и кинокамеры с автоматическими фокусирующими устройствами, основанными на следующих принципах: угломера с отвесом типа маятника; радиолокатора; инфракрасного локатора; видоискателя, имеющего фотоэлемент (с нелинейной характеристикой), реагирующий на изменение резкости изображения.

Жесткая установка объектива применяется, как правило, в простых фотоаппаратах типа «Этюд», «Школьник» и др.

Фотоаппарат с несколькими спусковыми клавишами, каждая из которых обозначена символами «портрет», «человек во весь рост», «группа», «пейзаж», служит для установки объектива на определенное расстояние и спуска затвора. Клавиши расположены таким образом, что при держании фотоаппарата четыре пальца правой руки удобно ложатся на них. Управление фотоаппаратом не вызывает затруднений, и при съёмке того или иного объекта фотограф после небольшой тренировки достаточно быстро ориентируется на какую клавишу требуется нажать.

Наводка фотообъектива на резкость может производиться с помощью специальных устройств — оптических *дальномеров*. Принцип работы дальномера заключается в следующем. Глаз при наблюдении через окуляр дальномера видит предмет *C* (рис. 36) через полупрозрачную светоделящую стеклянную пластину *A*, покрытую очень тонким слоем серебра. В определенном положении находится подвижное зеркало *B* (или призма), которое отражает на пластину *A* второе изображение предмета. При определенном повороте зеркала это изображение совместится с изображением, видимым непосредственно через пластину *A*.

Расстояние между объективами дальномера называется базой, или базисом, дальномера, угол α между лучами называется параллактическим углом. Используя известные значения базиса дальномера и параллактического угла, можно определить расстояние l от фотоаппарата до предмета. На шкале, регистрирующей поворот зеркала, нанесены деления в метрах, благодаря чему после совмещения изображений, видимых в дальномере, можно по шкале сразу определить расстояние до снимаемого объекта.

Принцип совмещения изображений лег в основу всех существующих оптических дальномеров. Практическое применение нашли три типа дальномерных устройств: с призматическим компенсатором (фотоаппарат «Зоркий»), компенсатором в виде оптического клина с переменным углом отклонения (фотоаппарат «Киев») и двухлинзовым вращающимся клиновым компенсатором (фотоаппарат «Москва-5»).

Призматический компенсатор имеет полупрозрачное зеркало, через которое ведется наблюдение за фотографируемым объектом. Изображение этого объекта, отразившись от прямоугольной призмы, попадает через ограничивающую диафрагму на пластину. Поворот призмы и совмещение дwoящихся изображений производятся рычагами, прижимаемыми друг к другу пружиной. В свою очередь рычаг поворачивается при фокусировке,

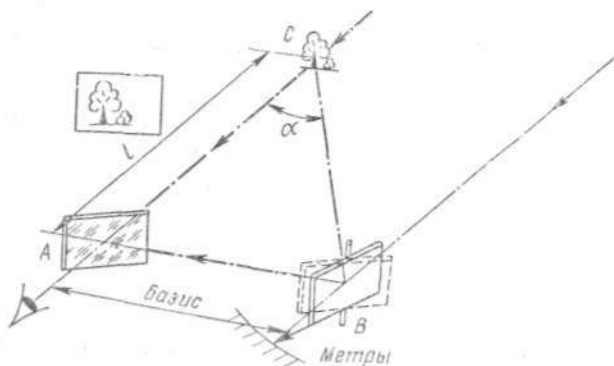


Рис. 36. Схема монокулярного дальномера.

когда объектив перемещается вдоль оптической оси. Оптический клин защищает призму и дает возможность производить юстировку дальномера (сдвигать изображения относительно друг друга по вертикали).

Компенсатор фотоаппарата «Киев» (в виде оптического клина с переменным углом отклонения) совмещен с телескопическим видоискателем, что дает возможность одновременно с наводкой на резкость кадрировать изображения*. Фотографируемый объект виден через защитное стекло и полупрозрачный слой между призмами, составляющими светорасщепляющий блок. Фокусировка объектива производится через систему шестерен, поворачиваемых с помощью зубчатого колеса. Одновременно этим колесом приводятся в движение рычаги, удерживаемые вместе пружиной. Рычаг при этом поворачивает цилиндрическую линзу, образующую с другой цилиндрической линзой оптический клин с переменным углом отклонения. При взаимном перемещении цилиндрических линз происходит изменение параллактического угла, что обеспечивает совмещение изображений.

Дальномер фотоаппарата «Москва-2» связан с объективом системой шестерен. При повороте фокусирующей головки происходит поворот относительно друг друга двух оптических клиньев. Благодаря этому осуществляется изменение параллактического угла и совмещение изображений.

Существует еще один вид дальномера, в поле зрения которого изображение делится на верхнюю и нижнюю части, образуемые узкой полупрозрачной пластиной и призмой (фотоаппарат «Ленинград»).

Фотоаппараты с автоматической фокусировкой имеют значительно более сложное устройство. Автоматическая система, основанная на принципе угломера, работает следующим образом. Перед нажимом на спусковую кнопку фотоаппарат наклоняют и, глядя в видоискатель, совмещают линию, проходящую в поле его зрения, с самой нижней точкой объекта съемки (съемка производится с высоты человеческого роста). Если объект находится близко, то наклон фотоаппарата будет большим по сравнению со съемкой значительно удаленных объектов. После совмещения средней линии в поле зрения видоискателя с нижней точкой объекта нажимается и отпускается специальная кнопка, включающая фокусирующий механизм с отвесом. При этом отвес устанавливается в вертикальном направлении и через специальное лекало перемещает фокусирующую линзу объектива. Следует указать, что этот вид автоматической фокусировки работает только при обычных видах съемки (на ровной местности, с высоты человеческого роста, при съемке с обычными наклонами фотоаппарата).

Принцип фокусировки с помощью радиолокатора положен в основу проекта одной из конструкций фотоаппаратов фирмы «Поляронд» (США). В этом фотоаппарате через антенну направленного действия подается радиосигнал по направлению объекта съемки. Отразившись от объекта, радиоволна в зависимости от его удаления возвращается с тем или иным опозданием. Она принимается специальной приемной антенной. При этом величина задержки радиосигнала фиксируется преобразователем, приводящим в действие электро-

* В последних моделях дальномерных фотоаппаратов (в том числе и типа «Зоркий») дальномер совмещается с видоискателем.

двигатель, производящий фокусировку. Действие инфракрасного локатора напоминает радиолокационную фокусировку.

Системы автоматической фокусировки, основанные на применении фотоэлемента с сильно выраженной нелинейной характеристикой, имеют более простое устройство. Применяемые в них светоприемники (фотоэлементы или фотосопротивление) отличаются от обычных тем, что образующийся в них фототок пропорционален изменению освещенности только до определенного предела (так называемого тока насыщения) и при дальнейшем увеличении освещенности практически не изменяется. Принцип фокусировки состоит в следующем. Видоискатель наводят на объект съемки. При этом необходимо, чтобы видимый в поле зрения ограниченный в размерах управляющий фокусировкой светоприемник совместился с краем объекта съемки и фона. При нерезком изображении вся поверхность светоприемника будет занята размытым изображением границы объекта и фона, а при резком эта граница значительно сузится, четко разделив светоприемник на две половины. При нерезком изображении вся поверхность фотоэлемента освещена и в нем образуется большой фототок по сравнению с резким. Это объясняется тем, что при нормальной фокусировке участки фотоэлемента, попавшие в темную часть изображения, дают очень малый фототок. В то же время в ярко освещенных участках фототок практически не возрастает, что связано с нелинейностью характеристики фотоэлемента.

При нажмении на спусковую кнопку фотоаппарата сначала включается электродвигатель, перемещающий приемник света (фотосопротивление) и объектив вдоль оптической оси. Работа двигателя и перемещение объектива продолжаются до тех пор, пока светоприемник не попадает в зону наименьшего фототока, т. е. наибольшей резкости. При наилучшей фокусировке включается сигнал в видоискателе и после этого срабатывает затвор.

Видоискатели. Определение границ кадра при наводке фотоаппарата на объект съемки и компоновка этого объекта в кадре осуществляются с помощью видоискателя, укрепляемого на фотоаппарате. В павильонных широкоформатных фотоаппаратах наблюдение за объектом и одновременная наводка на резкость производятся по матовому стеклу, после чего вместо матового стекла ставится кассета со светочувствительным материалом. Такой способ компоновки кадра отнимает значительное время. В связи с этим фотоаппараты, как правило, снабжаются видоискателем. Различают рамочные, зеркальные и телескопические видоискатели.

Рамочный видоискатель состоит из двух откидных или подвижных рамок, через которые производится наблюдение за объектом съемки (рис. 37, а). Рамки ограничивают угол

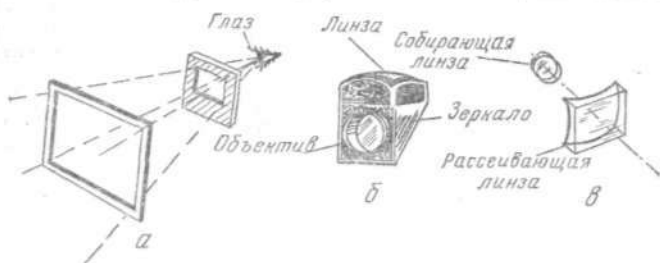


Рис. 37. Видоискатели:

а — рамочный; б — зеркальный; в — прямой оптический (телескопический)

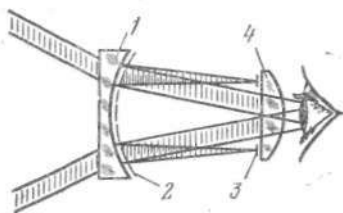


Рис. 38. Видоискатель с подсвеченной кадровой рамкой.

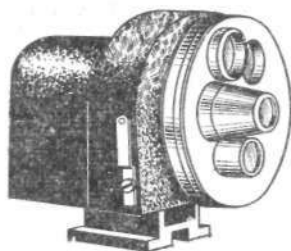


Рис. 39. Универсальный видоискатель ВУ

зрения и приводят его в соответствие с углом поля изображения фотоаппарата.

Зеркальный видоискатель состоит из двух положительных линз и зеркала, расположенного под углом 45° к их оптической оси (рис. 37, б). Визирование изображения производится обычно сверху.

Зеркальные видоискатели небольших размеров, дают мелкий масштаб изображения, что создает известные трудности при компоновке кадра. При наблюдении за изображением фотоаппарат находится внизу на уровне груди, что отрицательно сказывается на передаче перспективы. Кроме того, даваемое видоискателем изображение зеркально перевернуто. В связи с этим в современных фотоаппаратах стараются по возможности приблизить размер изображения в зеркальном видоискателе к размеру кадра. Примером фотоаппарата с зеркальным видоискателем является фотоаппарат «Любитель-2».

Большое применение в конструкциях современных фотоаппаратов нашли *телескопические* видоискатели (рис. 37, в), конструктивно представляющие собой оптическую систему, состоящую из передней отрицательной прямоугольной и задней положительной линз. В современных фотоаппаратах с дальномерами видоискатель совмещают с дальномером. Некоторые телескопические видоискатели имеют диоптрийное устройство, т. е. специальную подвижную линзу, расположенную внутри видоискателя. Перемещая эту линзу, можно сфокусировать изображение. Некоторые видоискатели имеют пластинку с нанесенными на нее белыми рамками (рис. 38). На внутренней поверхности передней отрицательной линзы 1 нанесен полупрозрачный зеркальный слой 2, отражающий зеркальную кадрковую рамку 3 на линзе 4. При кадрировании изображения эти рамки хорошо видны в поле зрения. При этом поле, ограниченное каждой из них, точно соответствует полю зрения того или иного сменного объектива.

При использовании сменных объективов в дальномерном фотоаппарате с обычными видоискателями применяются приставные видоискатели. Универсальный видоискатель ВУ (рис. 39) позволяет использовать в фотоаппарате сменные объективы с фокусными расстояниями 28, 35, 50, 85 и 135 мм. Этот видоискатель состоит из сменяемых передних объекти-

вов — линз, установленных в револьверный диск; оборачивающей призмы; окуляра и находящихся в его фокусе сетки с перекрестием и рамки. При переустановке у видискателя ВУ того или иного объектива угол его зрения приводится в соответствие с углом изображения дополнительного фотообъектива, установленного в фотоаппарате.

Экспозиционные устройства. Существует большое количество фотоаппаратов со специальными устройствами, облегчающими определение экспозиции и даже автоматически устанавливающими необходимую комбинацию времени экспонирования и диафрагм. Системы установки экспозиции следующие: неавтоматическая — по показаниям приставного или встроенного экспонометра; полуавтоматическая — в фотоаппаратах с экспонометрическим устройством, связанным с узлом объектив — затвор; автоматическая с предварительной установкой времени экспонирования или диафрагмы.

Прочие узлы и механизмы фотоаппаратов. В большинстве моделей фотоаппаратов взвод затвора, перемотка фотопленки на один кадр и счетчик кадров объединены. Эти операции выполняются одновременно при повороте *заводной головки* (или курка). Такое совмещение операций предупреждает возможность съемки на один кадр дважды. Курковый, или рычажный, взвод более удобен по сравнению с заводной головкой, так как позволяет в процессе съемки быстро перемотать фотопленку и вывести затвор одним поворотом курка до отказа. После этого курок специальной пружиной возвращается в исходное положение.

Разработаны фотоаппараты, в которых операцию с одновременным ручным взводом затвора и перемотки фотопленки выполняют с помощью пружинного заводного устройства на 10 кадров (фотоаппарат «Ленинград») и с помощью электродвигателя (фотоаппарат «Зенит-5»).

В фотоаппаратах, рассчитанных на использование фотопленки «Рольфильм», передвижение фотопленки на один кадр обеспечивается визуальным наблюдением за цифрами на ракорде фотопленки через специальное окошечко со светофильтром в задней стенке фотоаппарата. В более совершенных фотоаппаратах фотопленку перематывают поворотом головки до упора без визуального наблюдения.

Перезаряжать фотоаппарат на свету можно благодаря специальным приспособлениям — *кассетам*. В павильонных фотоаппаратах применяют двойные пластиночные кассеты (рис. 40, а), представляющие собой деревянную коробку с внутренней металлической перегородкой, разделяющей две фотопластины (или форматные фотопленки), заряжаемые в кассету. Кассета имеет заслонки, одну из которых открывают после установки кассеты в фотоаппарат. По окончании съемки заслонку закрывают и кассету вынимают из фотоаппарата. В пластиночных фотоаппа-

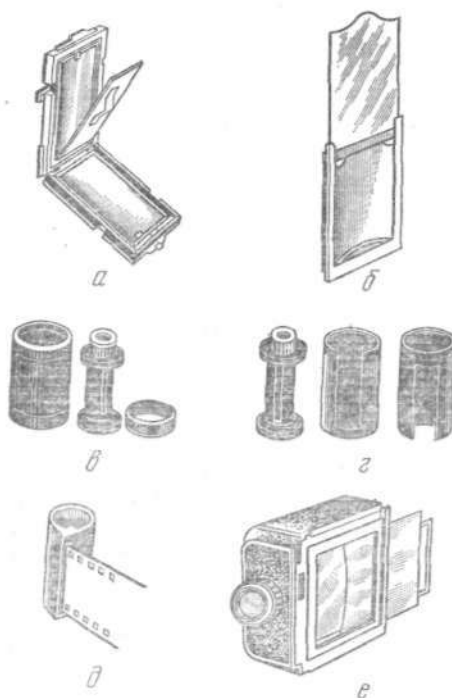


Рис. 40. Сменные кассеты:

а — пластиночная двойная; б — пластиночная одинарная; в — малоформатная (стандартная) модель закрытого цилиндра с катушкой; г — специальная малоформатная металлическая модель закрытого цилиндра с катушкой; д — специальная модель кассеты «Рapid»; е — приставка-кассета для фотоаппарата «Салют»

паратах с форматом кадра меньше 13×18 см обычно используют металлические одинарные кассеты (рис. 40, б), рассчитанные на зарядку одной фотопластины (форматной фотопленки). Кассеты для малоформатных фотоаппаратов, рассчитанных на использование перфорированной фотопленки шириной 35 мм и длиной 1,65 м, имеют вид закрытого цилиндра с катушкой (рис. 40, в, г), на которую наматывается фотопленка. Фотопленка для фотоаппаратов среднего формата (так называемая ка-

тушечная фотопленка) защищается от засветки специальным бумажным ракордом, имеющим вид ленты, окрашенной с внутренней стороны черным, а с наружной — красным цветом. Фотопленка наклеена с внутренней (черной) стороны ракорда. Ракорд на красной стороне имеет метки в виде цифр и различных условных знаков, обозначающих номера кадров, начало и конец фотопленки. Ракорд с двух сторон длиннее фотопленки на 40 см, что обеспечивает надежную защиту ее от света при намотке на катушку. При зарядке фотоаппарата катушку с фотопленкой вставляют в специальное гнездо, а конец ракорда укрепляют в щели другой (приемной) катушки, которую устанавливают во второе гнездо фотоаппарата. Известное распространение получили специальные кассеты «Рapid» (рис. 40, д), заряжаемые при выпуске фотопленкой 35 мм (фотоаппараты «Зоркий-12», «Смена-Рapid») и рассчитанные на 12 кадров размером 24×36 или на 24 кадра размером 18×24 мм. Они не имеют катушки, фотопленка подается в них через щель и самостоятельно свертывается внутри кассеты. Каждая кассета имеет особый выступ, обеспечивающий введение в программу автоматического фотоаппарата чувствительности используемой фотопленки. Применение кассеты «Рapid» значительно упрощает процесс зарядки фотоаппарата. Две оди-

наковые кассеты вставляют в кассетные гнезда. Выступающий из щели одной из кассет конец фотопленки накладывают на транспортирующий барабан и закрывают крышку фотоаппарата. При взводе курка барабан протягивает фотопленку и одновременно вставляет конец ее в щель приемной кассеты. Фотоаппарат «Салют» имеет специальные сменные кассеты (рис. 40, е) для катушечной фотопленки, что позволяет быстро заменять фотопленку в фотоаппарате, т. е. переходить от одного фотоматериала к другому.

§ 6. КЛАССИФИКАЦИЯ ФОТОАППАРАТОВ

Все существующие модели фотоаппаратов можно условно разделить на две основные группы: фотоаппараты для общесфотографических целей (общего назначения) и специальные. К первой группе относятся фотоаппараты для художественной профессиональной и любительской съемки, ко второй — фотоаппараты для специальных работ (аэрофотосъемки, рентгено съемки и т. д.). Фотоаппараты общего назначения принято классифицировать по размеру кадра (табл. 1), конструктивным особенностям, типу затвора, способу наводки на резкость, степени автоматизации.

В зависимости от особенностей конструкции фотоаппараты классифицируют на складные (модели «Искра», «Москва»),

Т а б л. 1. Классификация фотоаппаратов

Группа фотоаппаратов	Размер кадра, мм	Номинальные размеры сторон поля изображения, мм (ширина × длина)	Фотоматериал
Миниатюрные	14×21 12×17 10×14	14×21 12×17 10×14	Фотопленка одинарная с двусторонней перфорацией и катушечная неперфорированная шириной 16 мм
Полуформатные	18×24	17,5×24	Фотопленка катушечная перфорированная шириной 35 мм (тип 135)
Малоформатные	24×36 28×28	24×36 28×28	То же Фотопленка катушечная с односторонней перфорацией шириной 35 мм (тип 126)
Среднеформатные	60×90 60×70 60×60 45×60	57×82,5 57×72 57×57 57×41	Фотопленка катушечная неперфорированная шириной 61,5 мм (типы 120 и 220)
Широкоформатные	180×240 130×180 90×120 85×105	175×234 125×175 86×116 73×96	Фотопластинки и фотопленка форматная Фотоматериалы одноступенчатого процесса

жесткой конструкции (модели ФЭД, «Зоркий», «Киев»), зеркальные однообъективные (модели «Зенит», «Салют») и зеркальные двухобъективные (модели «Любитель»).

Степень технической оснащенности определяет деление фотоаппаратов на следующие группы: простейшие — дешевые пластмассовые фотоаппараты с простейшим объективом (например, «Этюд»), простые — малоформатные фотоаппараты несложной конструкции с наводкой по шкале расстояний или символам (например, «Смена»), среднего класса — обычно дальномерные фотоаппараты со светосильным объективом и с автоматической установкой экспозиции (например, «Зоркий-10»), высокого класса — зеркальные однообъективные фотоаппараты с электронным затвором (например, «Зенит-Д»).

Миниатюрные фотоаппараты рассчитаны на использование рулонных фотопленок шириной 16 мм. К числу фотоаппаратов модели «Нарцисс» относятся фотоаппараты с форматом кадра 14×21 мм, рассчитанные на перфорированную фотопленку, и «Вега-2» с форматом кадра 10×14 мм, рассчитанный на фотопленку с двусторонней перфорацией. Наводка на резкость у большинства фотоаппаратов осуществляется по шкале расстояний или по символам. Зеркальный однообъективный фотоаппарат «Нарцисс» имеет наводку на резкость по матовому стеклу.

Ассортимент миниатюрных фотоаппаратов, выпускаемых в нашей стране и за рубежом, небольшой. Это обстоятельство объясняется малым спросом на миниатюрные фотоаппараты, что связано с ограниченными возможностями фотоматериалов общего назначения, которые пока не обеспечивают достаточного качества снимков при проекционной печати с негативов мелкого формата.

Полуформатные фотоаппараты рассчитаны на применение 35-миллиметровой перфорированной фотопленки и имеют размер кадра 18×24 мм (модели «Чайка»). Достоинством фотоаппаратов этой модели считают возможность получать на фотопленке стандартной длины (1,65 м) 72 кадра, т. е. удвоенное количество по сравнению с малоформатными фотоаппаратами. Формат кадра 18×24 мм допускает возможность сравнительно крупных увеличений с достаточно высоким качеством фотоизображения.

Малоформатные фотоаппараты рассчитаны на применение 35-миллиметровой фотопленки, имеющей длину 1,65 м. Эти фотоаппараты имеют в основном формат кадра 24×36 мм (модели «Зенит», ФЭД, «Зоркий» и др.) и позволяют получать 36 кадров на фотопленке стандартной длины. Некоторое распространение получили фотоаппараты с форматом кадра 24×24 и 24×32 мм (например, модели «Весна»). За рубежом появились фотоаппараты, в которых используется фотопленка шириной 35 мм с односторонней перфорацией («Супер-35»), что позволяет получать снимки размером 28×28

и 28×42 мм, т. е. увеличить площадь кадра на фотопленке этого формата на 40 %.

Малоформатные фотоаппараты имеют в настоящее время самое широкое распространение. Они снабжаются различными устройствами, автоматизирующими в той или иной степени съемочный процесс. В них применяются системы упрощенной зарядки фотопленки, полуавтоматической и автоматической установки экспозиции, автоматическая перемотка фотопленки и др. Для этих фотоаппаратов выпускается ассортимент сменных объективов для различных видов съемки.

Среднеформатные фотоаппараты рассчитаны на применение роликовых неперфорированных фотопленок шириной 61,5 мм и длиной 81,5 см.

За рубежом встречаются модели фотоаппаратов или приставки к фотоаппаратам, рассчитанные на применение 70-миллиметровых перфорированных фотопленок. Кроме фотоаппаратов с установившимися форматами кадра 6×9 , 6×6 и $4,5 \times 6$ см, появились фотоаппараты с форматом кадра 6×7 см (56×72 мм), получившим название «идеальный формат» за совпадение по соотношению сторон с большинством форматов фотобумаг.

По конструктивным признакам среднеформатные фотоаппараты делят на две группы: однообъективные и двухобъективные. К однообъективным относятся фотоаппараты «Киев-6С», «Салют», «Салют-К», к двухобъективным — «Любитель-2».

На рис. 41 приведен внешний вид однообъективного павильонного фотоаппарата «Ракурс-670», рассчитанного на применение фотопленки шириной 61,5 мм и длиной 0,81 и 17 м (в специальной кассете). Основной (штатный) объектив «Вега-23» 3,5/150. В фотоаппарате предусмотрена также возможность применения сменных объективов. Формат получаемого кадра

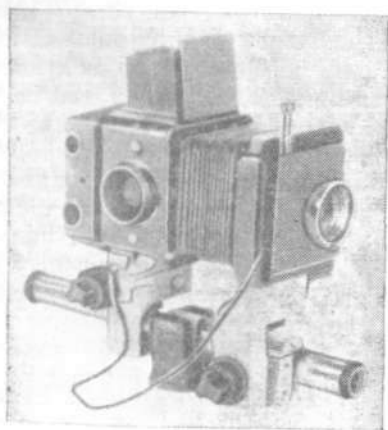


Рис. 41. Среднеформатный павильонный фотоаппарат «Ракурс-670»

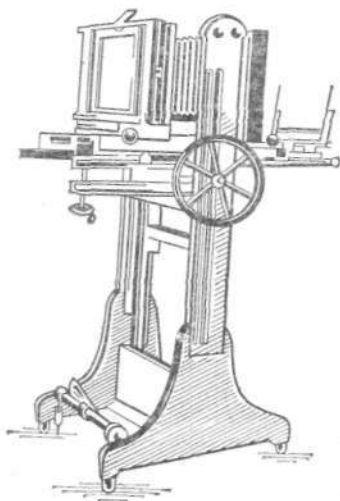


Рис. 42. Широкоформатный павильонный фотоаппарат

56×72 мм. Фотоаппарат имеет центральный электронный затвор. Наводка на резкость осуществляется по матовому стеклу или линзе Френеля. Специальное устройство позволяет одновременно со съемкой впечатывать на краю кадра восьмизначный цифровой индекс для маркировки заказов.

Кроме фотоплёнок, рассчитанных на 12 кадров форматом 6×6 см (тип 120), получают распространение фотопленки удвоенной длины, т. е. рассчитанные на 24 кадра форматом 6×6 см (тип 220). Светозащитный ракорд этих фотоплёнок состоит из двух небольших отрезков плотной светозащитной бумаги, прикрепленных к началу и концу ролика. Таким образом, фотопленка, наматываясь на подающую или приемную катушку, всегда предохраняется снаружи несколькими витками ракорда, а за счет его уменьшения длина фотопленки увеличена в два раза при том же диаметре ролика, что создает удобства при обработке фотоматериала.

Широкоформатные фотоаппараты имеют размер кадра от 9×12 до 30×40 см и предназначаются в основном для профессиональной фотографии. К ним относятся большинство павильонных и некоторые виды репродукционных фотоаппаратов. Павильонные фотоаппараты (рис. 42) используются в студиях для съемки портретов и групп. Это определило конструкцию не только фотоаппарата, но и его штатива. Фотоаппараты для репортажной или выездной (внепавильонной) съемки имеют более мелкий размер кадра. Вместе с тем при съемке больших групп, особенно при съемке документального характера, когда требуется получить на снимке мельчайшие подробности объекта, применяют фотоаппараты с крупным размером кадра.

К репродукционным фотоаппаратам для общefотографических целей относится фотоаппарат ФКР 30×40, имеющий устойчивый стационарный штатив и объектив «Индустар-11М» с относительным отверстием 1:9 и фокусным расстоянием 60 см (промышленность выпускает большой ассортимент объективов этой серии с фокусными расстояниями 30, 45, 90 и 120 см). В фотоаппаратах ФКП 18×24, ФКД 18×24, ФКД 13×18, ФКР 30×40 видоискатель и затвор отсутствуют. Кадрирование и наводку на резкость в этих фотоаппаратах осуществляют по матовому стеклу. Времена экспонирования дозируют с помощью насадочного затвора или вручную. Для съемки пользуются фотопластинками или форматными фотопленками, которые заряжают в двойные кассеты, входящие в комплект фотоаппаратов. Эти фотоаппараты изготовляют в основном из дерева. Они имеют складывающийся мех, соединяющий объективную и кассетную части, позволяющий обеспечивать двойное и более растяжение фотоаппарата и съемку в натуральную величину или с увеличением.

Панорамный фотоаппарат «Горизонт» (рис. 43, а). Имеет удлинённый формат кадра 24×58 мм и предназначается для

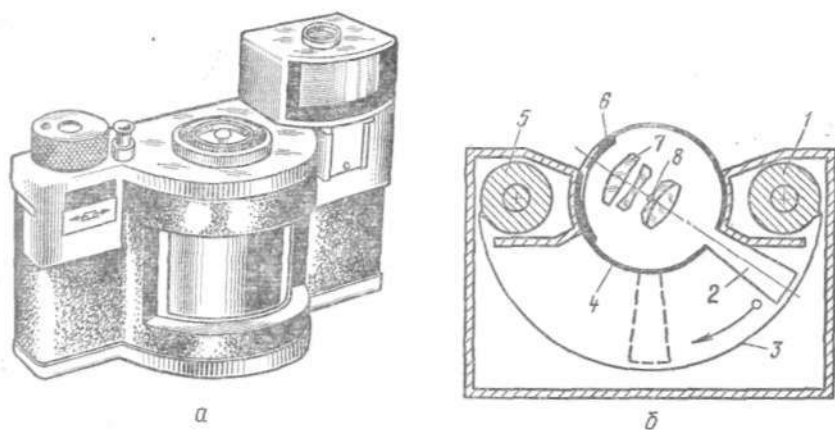


Рис. 43. Панорамный фотоаппарат «Горизонт»:
а — внешний вид; б — схема

съемки пейзажей, архитектурных ансамблей, памятников, интерьеров и др. Угол охвата этого фотоаппарата 120° . Фотоаппарат по классификации относится к малоформатным фотоаппаратам для общесфотографических целей. Величину времени экспонирования регулируют путем изменения ширины щели в затворе. Принцип работы панорамного фотоаппарата состоит в следующем (рис. 43, б): фотопленка (35-миллиметровая перфорированная) подается из подающей кассеты 1 в приемную 5, проходя через фильмовый канал 3. В цилиндрическую камеру 4 вмонтирован объектив 7. Свет попадает в него через щель затвора 6 и выходит через раструб 2.

Рабочий цикл складывается из следующих этапов. В момент готовности к съемке все основные механизмы фотоаппарата находятся в исходном положении, соответствующем положению, показанному на рис. 43, б. В момент съемки щель затвора открывается, и объектив начинает поворачиваться вокруг оси 8 под действием заводной пружины. Благодаря этому движению происходит экспонирование фотопленки по всей длине кадра от одного края к другому.

Стерефотоаппарат «Спутник». Позволяет получать стереоскопические снимки, которые при рассматривании через стереоскоп дают ощущение объемности изображения. Фотоаппарат состоит из объективов 1 (рис. 44), поводка 2 регулировочного кольца затвора, резьбового гнезда 3 для тросика, спускового рычага 4, угловой крышки 5, заводного рычага 6, корпуса 7, головки 8 крепления катушки с фотопленкой, передней рамки 9 видоискателя, щитка 10 с заводской маркой, свето-защитных шторок 11, объектива 12 видоискателя, головки 13 перемотки фотопленки, синхроконтакта 14 для лампы-вспышки,

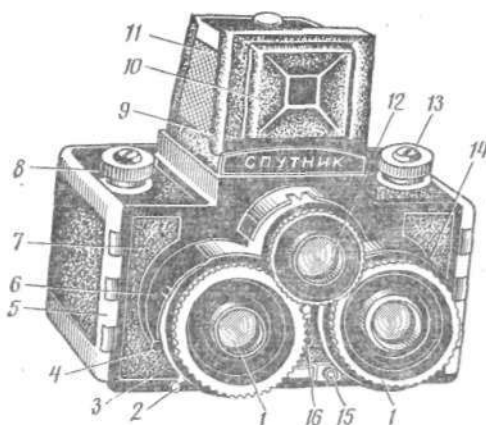


Рис. 44. Стерефонический фотоаппарат «Спутник»

рычага 15 регулировки диафрагмы, рычага 16 автоспуска. В комплект фотоаппарата входят стереоскоп и копировальная рамка для печати стереоснимков. Он рассчитан на использование стандартной фото пленки шириной 61,5 мм, на которой получается 6 двойных снимков форматом 6×6 см. Фотоаппарат «Спутник» снабжен двумя одинаковыми съемочными объективами, расположенными на расстоянии 65 мм друг от друга. Объективы имеют центральные затворы, действующие синхронно. Кадрирование и наводка на резкость производятся с помощью зеркального видоискателя, аналогичного видоискателю фотоаппарата «Любитель-2».

Фотоаппарат «Фотон» (рис. 45). Рассчитан на съемку на фотоматериалах одноступенчатого процесса. Он обеспечивает получение с помощью фотокомплектов «Момент» (СССР) и «Поляронд» (США) моментальных фотографий (в течение не более 2 мин) без какой-либо дальнейшей ручной или механизированной химической обработки.

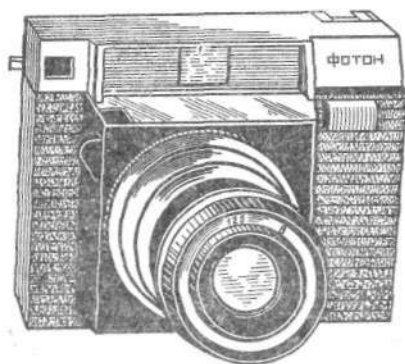


Рис. 45. Фотоаппарат «Фотон» с комплектом «Момент»

ГЛАВА II

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТА. ОПТИЧЕСКАЯ СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ И ДЕСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ

§ 1. ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ СВЕТА И СПЕКТР. ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Получение фотоизображения основано на действии энергии света на светочувствительные вещества фотоматериала. Свет является одним из видов электромагнитных колебаний (таких, например, как электрические волны и радиоволны) и отличается от них меньшей длиной волны. Он испускается телами отдельными прерывистыми порциями определенной величины — квантами (фотонами). Попадая на сетчатую оболочку глаза, лучистая энергия света вызывает световое ощущение в виде различных яркостей и цветов. Все виды электромагнитных излучений, в том числе и свет, распространяются в пустоте со скоростью около 300 тыс. км/с. Скорость распространения электромагнитных волн c , длина волны (расстояние, на которое распространяется одно колебание) λ и частота колебаний (число колебаний в секунду) ν связаны между собой соотношением

$$c = \lambda \nu, \text{ откуда } \nu = c/\lambda \text{ и } \lambda = c/\nu.$$

В связи с тем что скорость распространения всех электромагнитных колебательных движений в одной среде одинакова, признаками, характеризующими данное излучение, являются длина волны и частота колебаний. При переходе излучения из одной среды в другую скорость распространения электромагнитных колебаний изменяется в зависимости от показателя преломления среды для длины волны данного излучения:

$$\nu = c/n,$$

где c — скорость распространения света в пустоте; n — показатель преломления новой среды.

За единицу длины волны видимых излучений принят нанометр (нм), равный 10^{-9} м. К видимым относятся электромагнитные излучения с длиной волны ориентировочно от 380 до 720 нм. В зависимости от длины волны отдельные излучения воспринимаются глазом в виде различных цветов. Одноцветное излучение принято называть *монохроматическим*, или *простым*. Белый свет содержит одинаковое количество излучений всех длин видимых волн. В природе наблюдается свет сложного спектрального состава. Он содержит одновременно большое количество монохроматических излучений с различными длинами волн. Цветовой

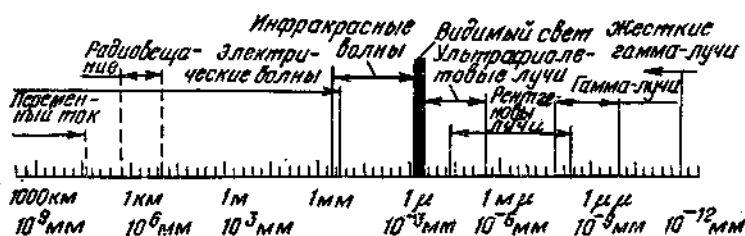


Рис. 46. Шкала электромагнитных волн

тон такого света определяется преобладающим в нем монохроматическим излучением.

Цветные лучи, входящие в состав белого света, видны при его разложении с помощью стеклянной призмы. За границами видимого спектра располагаются лучи, не видимые глазом: ультрафиолетовые с длиной волны до 380 нм и инфракрасные с длиной волны больше 720 нм. Видимая часть спектра с прилегающими к ней участками называется *оптической областью спектра* (рис. 46).

Глаз человека способен различать большое количество цветов видимого спектра. Однако выделяют восемь главных участков спектра: красный, оранжевый, желтый, желто-зеленый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый.

Длина волны различных участков спектра

Цвет спектра	Длина волны, нм	Спектральная зона
Красный	720—620	Красная
Оранжевый	620—590	
Желтый	590—560	
Желто-зеленый	560—530	Зеленая
Зеленый	530—500	
Голубой	500—470	Синяя
Синий	470—430	
Фиолетовый	430—380	

Величина кванта выражается формулой

$$\epsilon = h\nu,$$

где h — постоянная Планка, выражаемая в эргах и равная в этом случае $6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг-с; ν — частота колебаний.

Так как $\nu = c/\lambda$, то $\epsilon = hc/\lambda$.

Полученная формула показывает, что величина кванта обратно пропорциональна длине волны излучения. Таким образом, энергия кванта для различных излучений тем больше, чем меньше длина волны. Так, энергия кванта фиолетовых лучей света в 1,75 раза больше энергии кванта красных лучей. Отдельные цвета спектра ощущаются по-разному. На рис. 47 представлены кривая 1 спектральной чувствительности галогенида серебра (несенсибилизированного фотоматериала) и кривая 2 чувствительности глаза человека.

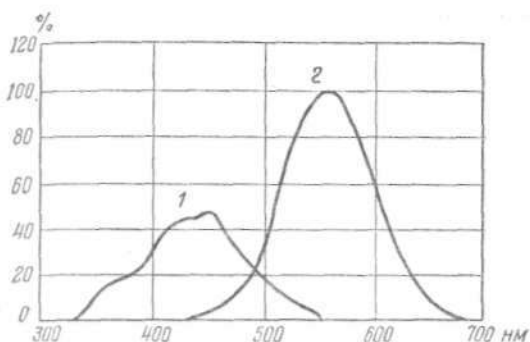


Рис. 47. Кривые спектральной чувствительности

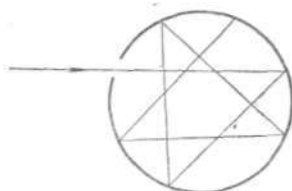


Рис. 48. Модель абсолютно черного тела

Одной из основных характеристик каждого источника света является его *цветовая температура*, которая характеризует спектральный состав испускаемой лучистой энергии и выражается температурой (K), при которой видимое излучение абсолютно черного тела будет иметь такой же спектральный состав, что и данный источник света. В природе естественных абсолютно черных тел не существует, модель близкого к нему по свойствам тела делают искусственно в виде особого прибора, например полого вычерненного внутри шара из тугоплавкого металла (рис. 48). Имеющееся в этом шаре отверстие принимается за эталон абсолютно черного тела, так как попадающие через это отверстие внутрь шара лучи после многократного отражения от его стенок практически полностью поглощаются и не выходят наружу. Нагревая шар, получают излучение, зависящее только от его температуры. Никакие отражения от других источников света на эти измерения не влияют.

При определении цветовой температуры какого-либо источника света сравнивают спектр его излучения со спектром излучения нагреваемого абсолютно черного тела. При одинаковых спектрах определяют, до какой температуры нагрето абсолютно черное тело. Этой температурой и выражают цветовую температуру источника света. Чем выше цветовая температура источника света, тем больше излучается коротковолновых лучей света, и наоборот, при понижении ее в излучении начинают преобладать длинноволновые лучи и источник начинает светиться красноватым светом.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ФОТОХИМИИ

Под действием лучистой энергии света в веществах происходят те или иные изменения. Световая энергия может преобразовываться в тепловую, электрическую и механическую. Во многих веществах под действием

света происходят химические изменения, называемые фотохимическими реакциями. Одним из примеров таких реакций является образование скрытого изображения в фотослоях. Наука, занимающаяся изучением химических реакций, протекающих под действием света, называется фотохимией.

В современной фотографии используется большое количество различных веществ, способных подвергаться фотохимическому превращению. К ним относятся соли серебра, хромовокислые соли, соли железа и диазония, светочувствительные лаки и полимеры, селеновые слои в электрофотографии и многие другие вещества.

Связь фотохимических превращений в веществе с поглощением света была определена в 1818 г. русским ученым Ф. И. Гротгусом. Им был сформулирован закон, характеризующий качественную сторону фотохимических процессов и названный *первым законом фотохимии*: химические превращения в веществе могут вызывать только те лучи, которые этим веществом поглощаются.

Количественная сторона при фотохимических реакциях была исследована впервые в 1855 г. Р. В. Бунзеном и Н. Е. Роско, которые и сформулировали *второй закон фотохимии* — *закон взаимозаместимости*: величина фотохимического эффекта в веществе определяется количеством его освещения, т. е. произведением интенсивности света I на продолжительность его воздействия t . Из этого следует, что при изменении освещенности и продолжительности воздействия света фотохимический эффект останется неизменным, если их произведение не изменится, т. е.

$$I_1 t_1 = I_2 t_2 = \dots = I_n t_n.$$

В процессе воздействия света на вещество и протекающего при этом фотохимического превращения уменьшается количество основного вещества. Это приводит к постепенному снижению прироста химически изменяющегося вещества, хотя интенсивность действия света остается неизменной. Об этом гласит *закон о связи фотоэффекта с поглощением света*: фотохимическое превращение определяется всем количеством света, поглощенного при освещении (т. е. только количеством света, поглощенного веществом).

В дальнейшем было обнаружено, что фотохимический закон Вант-Гоффа в некоторых случаях не действует, т. е. положение о том, что поглощенная телом энергия излучения полностью расходуется на фотохимическую реакцию, оказалось недостаточно точным. Связь между поглощением света веществом и фотохимической реакцией была более точно установлена А. Эйнштейном в 1912 г. на основе теории квантов. Развивая фотохимический закон Вант-Гоффа, А. Эйнштейн установил, что в фотохимическом превращении каждый поглощенный веществом квант лучистой энергии делает способной к реакции одну отдельную молекулу этого вещества. Это положение получило название

закона о фотохимическом эквиваленте. Для некоторых веществ наблюдается отклонение от закона о фотохимическом эквиваленте, вызванное вторичными, так называемыми темновыми, реакциями. У галогенида серебра, применяемого в качестве светочувствительного вещества в фотографии, квантовый выход близок к единице.

§ 3. ХИМИЧЕСКИЙ ФОТОПРОЦЕСС В КРИСТАЛЛАХ ГАЛОГЕНИДОЩЕЛОЧНЫХ СОЛЕЙ

Энергия излучения, попадая на вещество, распределяется на составляющие:

$$E = A + D + R,$$

где A — поглощенная энергия; D — пропущенная энергия; R — отраженная энергия.

Количественное соотношение поглощенной, пропущенной и отраженной веществом энергии зависит от природы вещества, на которое она попадает, характера его поверхности и длины волны падающих лучей.

Разные вещества имеют наибольшее поглощение в определенных характеристичных для них участках спектра, называемых полосами поглощения. Каждое вещество кроме определенного для него положения полос поглощения имеет внутри полосы участок с максимальным коэффициентом поглощения. Полным поглощением энергии лучей видимой зоны спектра характеризуется абсолютно черное тело.

Как уже было сказано, энергия излучения поглощается веществом отдельными порциями — квантами (фотонами). Энергия кванта для излучений с различными длинами волн неодинакова. Вещество может поглотить квант в том случае, если его энергия соответствует определенным квантовым условиям, т. е. определенной величине. При действии излучений на молекулы или атомы вещества они получают определенное количество энергии, т. е. меняют свои энергетические уровни. Низшим энергетическим уровнем считается состояние атомов и молекул, содержащих минимальное количество энергии. Поглощая квант, они переходят в возбужденное состояние, т. е. на более высокий энергетический уровень. Это состояние делает вещество нестабильным. Возбужденный атом или молекула, поглотив новое количество энергии, могут перейти на еще более высокий энергетический уровень, или наоборот, потерять полученную энергию.

Наиболее активными в отношении химического воздействия на вещества являются лучи коротковолновой области спектра, имеющие большие частоты и энергии. В результате действия излучения на вещество, т. е. столкновения квантов с молекулами, в этом веществе происходят различные превращения. Наибольший интерес для фотографии представляют превращения, выра-

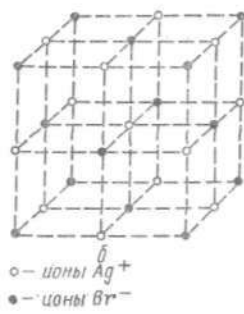
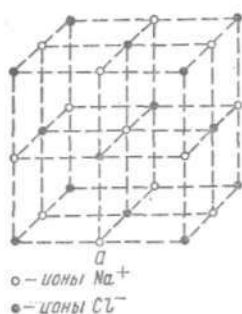
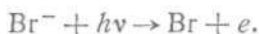


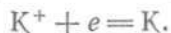
Рис. 49. Кристаллическая решетка:

а — хлористого натрия;
б — бромистого серебра

жающиеся в разложении вещества (фотолиз). Работам по изучению механизма действия света на галогенид серебра, используемый в фотослоях, предшествовали исследования фотохимических реакций в кристаллах галогенидощелочных солей — хлористого натрия, бромистого натрия, бромистого калия и др. Выбор для исследований именно этих солей объясняется тем, что образуемые из них кристаллы отличаются большой чистотой и значительными размерами (рис. 49). При обработке им может быть придана любая форма. Химическое строение этих солей и кристаллическая структура сходны со строением и структурой галогенида серебра. Действие излучений на них одинаково. Необходимо заметить, что в отличие от галогенида серебра на галогенидощелочные соли действуют излучения не видимой зоны спектра, а ультрафиолетовые и рентгеновы лучи. Однако это различие несущественно для изучения первичного фотохимического процесса в кристаллах галогенидных солей. В результате проведенного исследования был сделан следующий вывод: при поглощении кристаллом галогенидощелочной соли кванта света от иона галогенида отрывается один электрон, например для бромистого калия KBr



Освободившийся при этом электрон нейтрализует катион калия, переводя его в нейтральный атом, т. е.



Под действием ультрафиолетового излучения образуются атомы металла. Кристаллы бромистого калия окрашиваются в синий, хлористого калия — в фиолетовый, хлористого натрия — в желто-коричневый цвет. Такое окрашивание фотохимическим путем называют *субтрактивным*. Вывод о том, что окрашивание кристаллов под действием излучения происходит в результате образования атомов металла, подтверждается аналогичным явлением, которое можно наблюдать при осаждении на кристалл галогенидощелочной соли паров металла — *аддитивное окрашивание*.

Кристалл, получивший окраску и имевший до этого полосу поглощения в невидимой ультрафиолетовой области спектра максимально около 200 нм, получает еще одну полосу, но уже в видимой желтой или красной части спектра в зависимости от вида соли. Эта новая полоса поглощения приводит к тому, что на свету кристалл теряет свою окраску в результате новой (обратной) фотохимической реакции под действием видимых лучей. В то же время в темноте окраска кристалла не теряется.

Анализ полученных данных показал, что в начальной стадии фотохимического процесса квантовый выход реакции близок к единице, а затем, с появлением дополнительных полос поглощения, значительно уменьшается, т. е. наступает состояние насыщения. Состояние насыщения не наступает тем дольше, чем больше дефектов имеет кристаллическая решетка. Кристалл без дефектов во внутренней структуре при освещении не меняет своей окраски, т. е. он несветочувствителен. Встречающаяся в некоторых случаях нетипичная для данной галогенидощелочной соли окраска объясняется тем, что окрашивающий ее металл находится в кристаллах не в атомарном, а в ином (например, в коллоидном) состоянии.

§ 4. ДЕЙСТВИЕ СВЕТА НА ГАЛОГЕНИДЫ СЕРЕБРА И ОБРАЗОВАНИЕ В НИХ СКРЫТОГО ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯ

Светочувствительный эмульсионный слой фотоматериала представляет собой слой желатина, в котором распределены микрокристаллы (зерна) галогенида серебра и вспомогательные вещества, влияющие на те или иные свойства фотоматериала. Галогенидные соли бромистого AgBr , хлористого AgCl и йодистого AgI серебра находят наибольшее применение в фотографии (фтористое серебро несветочувствительно и применения не нашло). Микрокристаллы галогенидного серебра в большинстве случаев имеют форму плоских шести- и треугольных пластинок со срезанными углами. На рис. 50 показаны микрофотографии мелкозернистого и крупнозернистого фотослоев. Вместе с тем их внутренняя структура имеет вид кубической решетки ионного типа, где каждый ион серебра окружен шестью ионами брома, а каждый ион брома — соответ-

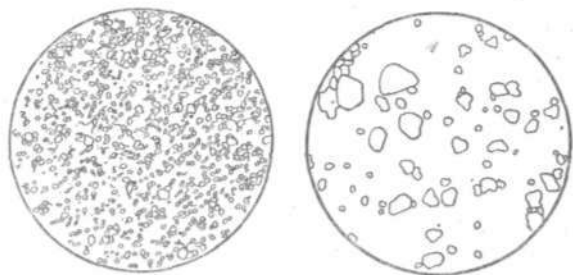
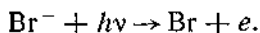


Рис. 50. Микрофотографии фотослоев:
а — мелкозернистого; б — крупнозернистого

ственно шестью ионами серебра (см. рис. 49, б). Ионный тип решетки бромида серебра обусловлен тем, что каждый атом брома притягивает к себе один электрон, принадлежащий атому серебра, в результате чего получившие положительный заряд частицы серебра (катионы) взаимодействуют (за счет сил электростатического притяжения) с одновалентными отрицательно заряженными ионами (анионами) галогенида (Br^- , Cl^- или I^-).

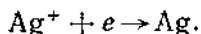
Кристаллическая решетка галогенида серебра имеет дефекты (трещины, сдвиги, микровкрапления металлического серебра и сернистого, образующиеся в процессе изготовления фотоэмульсии), что обуславливает его светочувствительность. Дефектные участки называют *центрами светочувствительности*. При действии света на слой они накапливают атомы серебра, высвобождающиеся при поглощении световых квантов, образуя центры скрытого (латентного) изображения. При этом действие лучей света сказывается тем сильнее, чем меньше длина их волны. Центры скрытого изображения при накоплении определенного количества атомов серебра становятся *центрами проявления*. В основе процесса образования скрытого изображения в кристаллах галогенида серебра, так же как и в кристаллах галогенидощелочных солей, лежит фотохимическая реакция.

Как было отмечено в предыдущем параграфе, с точки зрения современной фотохимии образование скрытого изображения в процессе экспонирования фотослоя происходит благодаря способности светочувствительного вещества разлагаться под действием энергии света с образованием металла (в данном случае металлического серебра). При действии света на кристалл галогенида серебра энергия каждого кванта излучения освобождает один электрон, отрывая его от иона галогенида (например, брома):

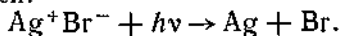


Атом брома выходит на поверхность микрокристалла и связывается там желатином фотоэмульсии или другим веществом, связывающим бром (бромакцептором).

Электрон, освобожденный светом, передвигается внутри кристалла до встречи с центром светочувствительности. Захватив его, центр светочувствительности получает отрицательный заряд и притягивает положительно заряженный междуузельный ион серебра, нейтрализует его и превращает в атом серебра:



Весь фотохимический процесс можно выразить следующей химической реакцией:



При экспонировании фотослоя центр светочувствительности получает значительное количество атомов серебра и вырастает до размеров скрытого изображения, которое может образоваться

на поверхности и внутри микрокристалла галогенида серебра. Различают три стадии процесса: образование ничтожно малых, непрочных центров скрытого изображения, их постепенное увеличение до достаточно стойких частиц-субцентров и образование центров скрытого изображения, способных в дальнейшем проявиться.

Естественная светочувствительность галогенидов серебра лежит в коротковолновом участке оптической области спектра с длиной волны примерно до 500 нм, т. е. в зоне ультрафиолетовых, фиолетовых и синих лучей. Фотоматериалы с такой спектральной чувствительностью непригодны для съемки многоцветных объектов, так как дают значительные искажения в их передаче. Для примера можно рассмотреть случай съемки на такой фотоматериал двух цветных объектов, например фиолетового и желтого цвета. Первый воспринимается глазом более темным, чем второй. При съемке фиолетовый цвет сильно подействует на галогенид серебра фотослоя, а желтый не подействует на него совсем. При проявлении участков негатива, на которые подействовали фиолетовые лучи, фотонизображение станет черным, а на которые подействовали желтые, фотонизображение не проявится и останется прозрачным. В результате этого при печати на фотобумагу фиолетовый цвет воспроизведется белым, а желтый — черным, т. е. произойдет искажение в передаче цветов. Поэтому фотоматериалы, чувствительные только к коротковолновой области спектра, можно использовать лишь при съемке объектов, не имеющих цветной окраски, например при репродуцировании черно-белых оригиналов. Такие фотоматериалы применяют и в позитивных процессах для печати с черно-белых негативов.

§ 5. ОПТИЧЕСКАЯ СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ И ЕЕ ВИДЫ

Сенсибилизация — расширение зоны спектральной чувствительности фотослоев и повышение их общей светочувствительности. Существует два вида сенсибилизации: оптическая и химическая. Для расширения границ спектральной чувствительности в эмульсионный слой фотоматериалов вводят специальные вещества — *оптические сенсибилизаторы*, обладающие светопоглощением в длинноволновой зоне спектра и дающие возможность переместить границу чувствительности вплоть до видимого красного и даже инфракрасного излучения. При химической сенсибилизации повышается собственная чувствительность галогенидов серебра. Сенсибилизацию фотоэмульсии проводят при ее изготовлении. Светочувствительность эмульсии повышается в результате взаимодействия вводимых в нее *химических сенсибилизаторов* с галогидным серебром и образования в его микрокристаллах центров светочувствительности.

Оптические сенсибилизаторы представляют собой органические вещества типа цианиновых красителей сложного химиче-

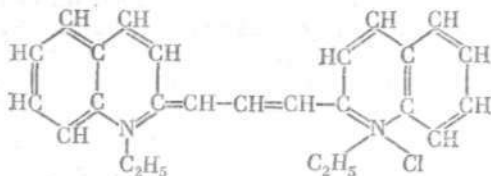
ского состава и строения. Светопоглощение в той или иной зоне зависит от длины полиметиловой углеводородной цепи — $\uparrow \text{CH} = \text{CH} -$ (количества углеводородных групп CH) и других особенностей химического строения вещества.

Явление оптической сенсibilизации было открыто в 1873 г. немецким ученым Г. В. Фогелем, применившим в качестве сенсibilизирующего вещества кораллин, а затем другие красители. Вслед за этим были предложены новые, более совершенные вещества.

В развитие химико-фотографической технологии внес вклад профессор И. И. Левкоев, он руководил работами по органическому синтезу веществ и по изучению влияния факторов на действие этих веществ.

Для оптической сенсibilизации фотослоев применяют более сложные вещества, дающие возможность переместить границу спектральной чувствительности фотоматериала до длины волны 1050 нм и более.

В качестве примера приведем формулу панхроматического сенсibilизатора пинацианола с областью сенсibilизации 520—720 нм



Оптическую сенсibilизацию проводят в процессе синтеза фотоэмульсии и при специальной обработке готовых несенсибилизированных фотоматериалов в растворе сенсibilизатора. Фотохимическая сущность оптической сенсibilизации заключается в том, что не действующие непосредственно на галогенид серебра кванты света длинноволновой зоны спектра поглощаются красителем и приводят его в возбужденное состояние: $\text{Сенс} + h\nu = \text{Сенс}^*$. Возбужденный сенсibilизатор Сенс^* передает полученную им энергию иону брома Br^- в кристалле галогенида серебра и освобождает один электрон: $\text{Br}^- + \text{Сенс}^* = \text{Br} + e + \text{Сенс}$. Освобожденный электрон, попадая на центр светочувствительности, заряжает его отрицательно. Это вызывает притягивание междуузельного иона серебра к центру светочувствительности и образование в определенных условиях скрытого изображения, т. е. процессы, аналогичные образованию скрытого изображения под действием коротковолнового излучения: $\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$. Один сенсibilизатор сообщает фотослою добавочную светочувствительность в сравнительно узкой зоне спектра. В эмульсию может быть введено несколько сенсibilизаторов (рис. 51). Несенсибилизированные эмульсии имеют собственную чувствительность галогенидов серебра в коротковолновой зоне спектра. Ортохроматические фотоматериалы помимо естественной имеют дополнительную чувствительность к желто-зеленым и желтым лучам. Чувствительность в зеленой зоне

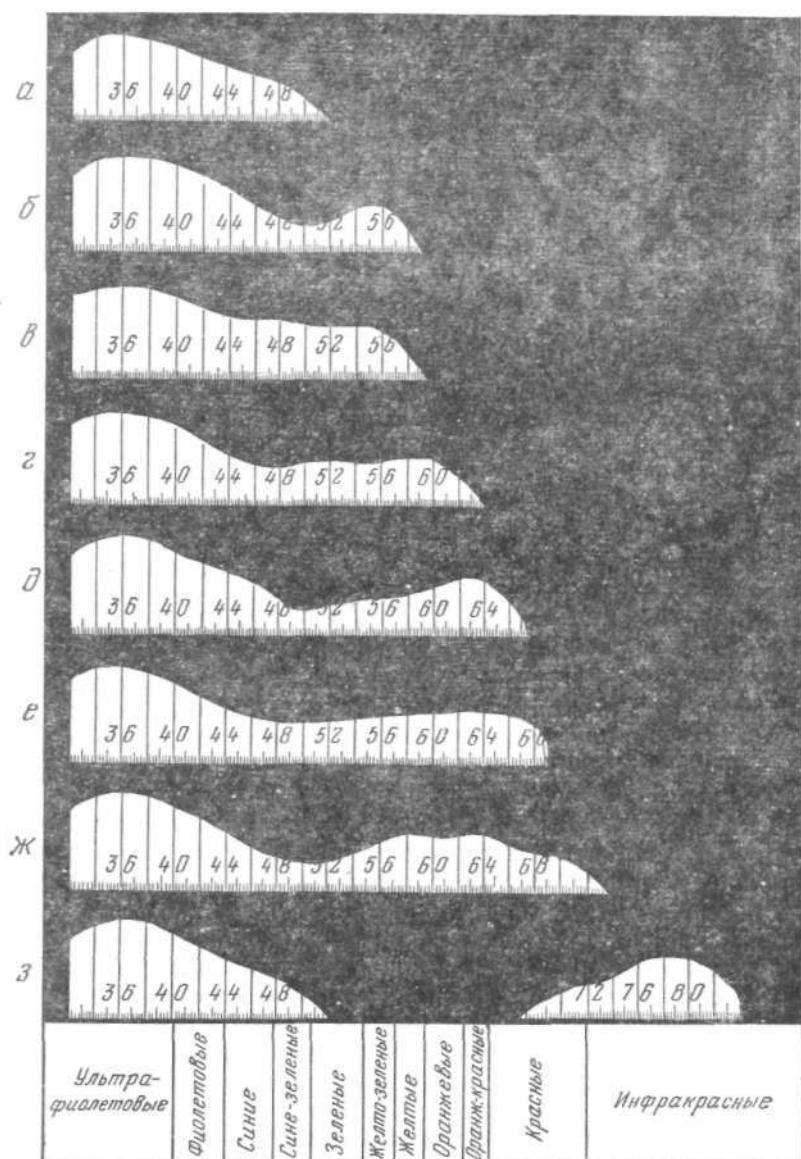


Рис. 51. Спектральная чувствительность (длина волны) фотоматериалов с различной сенсibilизацией:

а — несенсибилизированные; б — ортохроматические; в — изоортохроматические; г — изохроматические; д — панхроматические; е — изопанхроматические; ж — пан-инфрахроматические; з — инфрахроматические

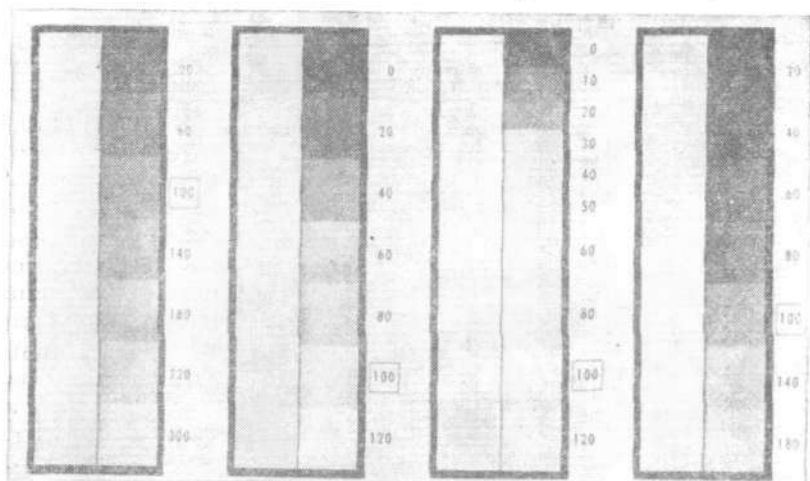


Рис. 52. Отпечаток цветной таблицы на изопанхроматической черно-белой фотопленке

у этих фотоматериалов понижена. Изоортохроматические слои напоминают по спектральной чувствительности ортохроматические, но не имеют понижения чувствительности к зеленому цвету. Чувствительность изохроматических фотоматериалов распространяется на все лучи вплоть до оранжевых. На панхроматические слои действуют все видимые цвета спектра, кроме зеленого, к которому чувствительность этих слоев понижена. По сравнению с панхроматическими изопанхроматические фотоматериалы имеют более ровную чувствительность ко всем лучам видимого спектра. Спектральная чувствительность панинфракроматических слоев распространяется вплоть до ближней инфракрасной зоны. Инфракроматические фотоматериалы имеют чувствительность к коротковолновым, красным и инфракрасным лучам спектра.

Для практического определения чувствительности фотоматериала к наиболее характерным цветам применяют упрощенный метод испытания, состоящий в съемке цветной таблицы (рис. 52). Таблица содержит четыре полосы синего, зеленого, желтого и красного цветов с примыкающими к ним серыми шкалами. После съемки этой таблицы по отпечатку или негативу можно определить качество воспроизведения цветов. Чувствительность к каждому из цветов определяется тем серым полем, которое дает на фотоизображении такое же почернение, что и это цветное поле. Одинаковая плотность цветной полосы с полем 100 % обозначает правильное воспроизведение цвета, более высокая плотность на отпечатке показывает малую чувствительность негативного материала к данному цвету, и наоборот. Следует учесть, что при оценке воспроизведения шкалы по негативу получают обратные плотности.

§ 6. ДЕСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ, ГИПЕРСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ И ЛАТЕНСИФИКАЦИЯ

Десенсибилизация — понижение светочувствительного эмульсионного слоя. При десенсибилизации может быть понижена собственная светочувствительность галогенида серебра и дополнительная, полученная при сенсibilизации. Светочувствительность фотоматериала понижают для предохранения его от вуалирования в процессе проявления при лабораторном освещении. При этом фотоматериал обрабатывают в растворе специальных веществ — десенсибилизаторов. Различают две группы десенсибилизаторов. Первые понижают собственную светочувствительность фотослоя и называются химическими. Это такие вещества-окислители, как марганцовокислый калий, железосинеродистый калий и др. Вторые снижают дополнительную, полученную при сенсibilизации светочувствительность и называются десенсибилизаторами-красителями.

Гиперсенсibilизация — повышение светочувствительности фотоматериалов. Гиперсенсibilизация используется, например, для повышения чувствительности инфрахроматических фотоматериалов марок «Инфра». Фотоматериалы подвергают гиперсенсibilизирующей обработке в дистиллированной воде при температуре 5—10 °C с последующей ускоренной сушкой с использованием 50 %-ного раствора этилового спирта.

Светочувствительность других фотоматериалов повышают различными методами. Основными из них являются: обработка фотоматериала в растворах аммиака или азотнокислого серебра, воздействие на фотослой аммиачных растворов солей серебра, обработка парами ртути, промывка в течение 1—1,5 ч в воде и сушка. Наибольший эффект дает гиперсенсibilизация малочувствительных мелкозернистых фотоматериалов, у которых достигается иногда четырехкратное повышение светочувствительности.

Сущность гиперсенсibilизирующего действия состоит в следующем. При обработке фотослоя в растворах аммиака или азотнокислого серебра происходит повышение содержания ионов серебра у поверхности кристаллов галогенида серебра, что приводит к созданию условий, способствующих образованию скрытого изображения. При воздействии на фотослой паров ртути последние осаждаются на центрах светочувствительности, что ведет к их росту и соответственно к повышению общей светочувствительности фотоматериала. При промывке фотоматериала в воде происходит вымывание бромидов из фотослоя и исключение его тормозящего действия в процессе образования скрытого изображения во время съемки.

Следует сказать, что гиперсенсibilизация дает нестабильные, т. е. плохо воспроизводимые и не всегда удовлетворительные

результаты, что является одной из причин ее ограниченного применения.

Латенсификация — усиление скрытого (латентного) изображения путем химической обработки фотоматериала после съемки. Скрытое изображение при этом можно усилить действием малых доз света, обработкой парами ртути или сернистого газа и в растворах некоторых органических кислот, в растворах перекиси водорода или аммиака и других веществ.

Сущность латенсификации светом состоит в следующем. Фотослой подвергают засветке лучами очень малой интенсивности в течение 30—60 с. Для дополнительной засветки может быть использован белый и неактиничный свет. Под действием квантов света происходит освобождение электронов, что создает условия к доращиванию центров скрытого изображения. Пределом латенсификации является образование вуали плотностью выше 0,2. Эффект латенсификации тем меньше, чем большую светочувствительность имеет фотоматериал.

Латенсификация применяется очень редко и представляет в основном теоретический интерес.

ГЛАВА III

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Фотоматериалы (светочувствительные материалы) предназначаются для получения на них фотоизображения. Они делятся на три группы: фотопленки, фотопластинки и фотобумаги. Фотоматериал состоит из двух основных частей — подложки (основы) и светочувствительного слоя. По виду получаемого фотоизображения различают негативные, позитивные и обращаемые светочувствительные материалы. Все они могут давать черно-белое или цветное фотоизображение.

Фотографическая эмульсия представляет собой водный раствор желатина с равномерно распределенными микрокристаллами галогенида серебра. В эмульсии, предназначенной для негативного фотоматериала, содержится бромистое серебро с небольшой примесью иодистого серебра. Микрокристаллы этих эмульсий имеют сложное строение. В их кристаллической решетке имеется небольшое количество ионов иода. В позитивных эмульсиях основным светочувствительным веществом является серебро бромистое или хлористое или их смесь. В них содержится и небольшое количество иодистого серебра.

В эмульсию вводят вспомогательные вещества, придающие ей те или иные дополнительные свойства. К числу этих веществ

относятся сенсibilизаторы, дубящие, стабилизирующие и др. Эмульсии, предназначенные для изготовления цветных фотоматериалов, содержат в своем составе и так называемые цветофотографические компоненты.

Желатин — сложное органическое вещество, которое получают из сырья животного происхождения (костей, кожи) путем выварки. Желатин относится к белковым веществам, или протеинам. Определенной химической формулы не имеет. Свойства желатина зависят от свойств используемого для его изготовления исходного продукта. Раствор желатина при нагревании переходит в состояние коллоидного раствора (золя), а при охлаждении — в состояние студня (геля), который удерживает микрокристаллы галогенидов серебра и другие компоненты эмульсии.

Эмульсию тонким слоем наносят на гибкую лавсановую или ацетатцеллюлозную, стеклянную или бумажную подложку. При погружении в фоторастворы эмульсионный слой обеспечивает их легкое проникание к микрокристаллам галогенидов серебра и поддерживает нормальное протекание реакций химико-фотографической обработки. Желатин в определенной степени влияет на фотографические свойства эмульсионного слоя и степень сохранения скрытого фотоизображения после съемки.

Основным веществом, необходимым для образования в массе желатина кристаллов светочувствительного вещества, является азотнокислое серебро AgNO_3 , представляющее собой бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде. При смешивании раствора азотнокислого серебра с галогенидощелочной солью (например, с бромистым калием) происходит химическая реакция обмена с образованием галогенида серебра (в данном случае бромистого серебра). Образующийся светло-желтый осадок постепенно темнеет на свету, что указывает на его светочувствительность.

§ 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

Основа, предназначенная для полива на нее фотоэмульсии, должна быть прозрачной и не иметь в массе механических загрязнений, воздушных пузырьков и свилей (участков с иным, чем общая масса, показателем преломления света). Она должна иметь определенную эластичность и прочность, быть тепло-, морозо- и влагостойкой, не давать большого растяжения при обработке и усадки при хранении. Сырьем для изготовления основ для фотоматериалов служит триацетат целлюлозы, из которого получают огнебезопасные, так называемые триацетатные основы. Например, для получения целлюлозы, необходимой для синтеза триацетата, используют отходы хлопка, содержащие до 90 % чистого вещества. В странах, не имеющих хлопковой сырьевой базы, используют древесину, содержащую около 60 % целлюлозы.

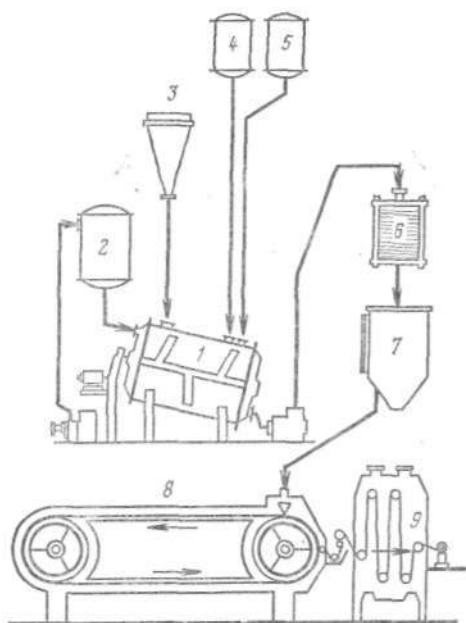


Рис. 53. Схема процесса изготовления основы для фотоматериала

Основа для фотопленок.

Предварительным процессом при изготовлении основы пленки является очистка целлюлозы от различных смолистых примесей, вредных для будущего фотоматериала. Отходы хлопка обрабатывают растворами едких щелочей (бучение), затем уничтожают их коричневую окраску специальными отбеливающими растворами, промывают и сушат. После этого очищенное сырье загружают в специальный аппарат и подвергают ацетилированию, т. е. обработке смесью из уксусной кислоты, катализатора (серная кислота, хлорная кислота или др.) и разбавителя (толуол, четыреххлористый углерод, бензин и т. п.). Вещества, введенные в аппарат,

тщательно перемешивают специальными механическими мешалками и получают первичную ацетилцеллюлозу. Для того чтобы завершить синтез, массу нагревают в присутствии разбавленных кислот и других веществ, что позволяет получить вещество, растворимое в ацетоне. Вещество концентрируют осаждением и отжимом на вращающейся центрифуге. Внешне оно напоминает хлопковую массу. Это вещество приобретает способность растворяться в органических растворителях. Его предварительно промывают в холодной и горячей воде, тщательно высушивают, размельчают и в результате получают белый порошок — триацетат.

Для приготовления литейной массы, предназначенной для получения тонкой прозрачной основы пленки, в специальный прибор — малаксер 1 (рис. 53), представляющий собой огромный бак из некоррозирующего материала и имеющий внутри вращающиеся мешалки, предварительно заливают метилхлорид 2 (растворитель) и вводят триацетат 3, стабилизатор и медленно испаряющийся растворитель (бутанол) 4, пластификатор (камафару, диметилфталат или др.) 5. Для образования однородной смеси общую массу перемешивают в малаксере несколько часов. Для полного избавления от механических примесей поступающий из малаксера раствор фильтруют через несколько фильтров 6, состоящих из нескольких слоев ваты и плотной ткани.

Появившиеся в растворе в процессе приготовления воздушные пузырьки удаляют в вакууме, а также нагреванием или отстаиванием, после чего образуется вязкая однородная масса — формовой раствор 7. Очищенный раствор триацетата поливается с помощью фильеры (длинного призматического лотка с узкой щелью) тонкой широкой полосой на движущееся зеркальное бесшовное полотно ленточной машины (троммеля) 8. Полотно изготовлено из тонкого металла и натянуто между двумя барабанами, один из которых охлаждается водой, циркулирующей в пазах внутри барабана. Полотно троммеля проходит сначала в канале троммеля, а затем попадает в сушильную камеру, через которую пропускается теплый воздух, ускоряющий сушку основы. За время полного оборота полотна растворители испаряются и слой триацетата застывает. Затем его снимают с металлического полотна в виде прозрачной пленки и наматывают на деревянную катушку (ось).

От чистоты поверхности металлического полотна троммеля зависит качество поверхности изготавливаемой основы. Поэтому все мельчайшие дефекты на полотне, появляющиеся в процессе работы, устраняют путем нанесения на него тонкого зеркального защитного желатинового или ацетилцеллюлозного слоя. Испаряющиеся при высыхании основы растворители отсасываются в рекуперационные установки, осуществляющие их восстановление. В конце процесса на готовую основу наносят тонкий желатиновый подслои, обеспечивающий в дальнейшем хорошее сцепление эмульсии с основой. Этот слой может быть нанесен в ленточной и в отдельной машине 9. С противоположной стороны на основу наносят слой специального лака, выполняющего в зависимости от вида будущей пленки те или иные функции. Чаще всего лак предохраняет фотоматериал от образования ореолов, т. е. отражения света от подложки и образования бликов на фотоизображении. Противоореольный слой содержит в себе тот или иной краситель, что придает ему определенную окраску (красный, зеленый, черный). В последние годы в противоореольные слои стали вводить серебро и наносить этот слой под эмульсионный слой. Такие фотопленки имеют серую или коричневую окраску. При химико-фотографической обработке противоореольная окраска обесцвечивается, за исключением некоторых чернобелых негативных пленок, где функцию противоореольного слоя выполняет основа, окрашенная в массу. Она не мешает в дальнейшем при печати. Как уже было сказано, полив вспомогательных слоев может производиться в ленточной или в специальной подслоино-лакировочной машине, где за один цикл осуществляется несколько операций. Свежеизготовленная основа требует досушки, предохраняющей ее от усадки. Основу досушивают в специальной машине после нанесения подслоя и противоореольного слоя или непосредственно в подслоино-лакировочной машине. После досушки рулон, стабилизировавшийся по размеру

основы, передают в цех полива эмульсии. Высокими механическими свойствами характеризуются пленочные материалы из синтетического полимера — полиэтилентерефталата (известного под названием лавсан). Так, по разрывному усилию, ударной прочности, усадке и морозостойкости пленка из этого материала в два-три раза превосходит триацетатные пленки. Она выдерживает в 10 раз большее число изгибов. Эти пленочные материалы нашли применение, несмотря на сложность изготовления. Удовлетворительными свойствами обладают пленки, изготовленные из синтетического полимера — поликарбоната, производство которого не вызывает таких больших технологических затруднений.

Подложка для фотобумаги. Подложку-основу делают в основном из древесной целлюлозы и в некоторых случаях (при производстве специальных бумаг) — из отходов хлопчатобумажного производства и вторичного сырья (хлопчатобумажного или льняного тряпья). В процессе производства подложки сначала готовят бумажную массу, а потом отливают из нее подложку. Для получения бумажной массы древесину измельчают в специальных машинах — дефибрерах и затем варят в больших котлах в присутствии сернистых солей, сернистой кислоты или углекислых щелочей. В результате образуется соответственно сульфатная, сульфитная или содовая целлюлоза.

При производстве бумаги из хлопчатобумажных отходов их предварительно очищают, нарезают и затем варят несколько часов в слабом растворе щелочи во вращающихся бучильных котлах. В результате масса очищается. Древесина или хлопчатобумажная масса поступает в огромные чаны (галландеры) с водой, где волокна делятся специальными вращающимися ножами. Промытую целлюлозу отбеливают хлорной известью, снова промывают и обрабатывают тиосульфатом натрия, нейтрализующим хлор. Полученная таким образом однородная масса проклеивается смолами, обеспечивающими уменьшение ее размокаемости, и попадает на непрерывно движущуюся металлическую сетку. В процессе продвижения сетки вода вытекает из массы, а остатки ее отсасываются при прохождении в вакуумном отсеке и на отжимных цилиндрах. Поступая после этого на горячие барабаны, бумага сушится, проглаживается, проходя между несколькими полированными валами, и сматывается в рулоны.

К подложке предъявляют особые требования в отношении ее физических и фотографических свойств. Бумага должна иметь строго определенные состав по волокну, плотность (массу), разрывную длину, излом, проклейку, белизну, промокаемость, влагонепрочность, деформацию, гладкость, сорность, влажность, смазываемость и т. д. В ее составе не должно быть веществ, которые могут отрицательно сказываться на свойствах фотоматериала, восстановителей и растворителей галогенидов серебра (напри-

мер, металлических и других загрязнений, остатков тиосульфата натрия после удаления хлора и т. п.).

В зависимости от плотности фотоподложку выпускают четырех марок, г/м²:

А — 80	— для фототехнических целей
Б — 128	} — для общего применения
В — 186	
Г — 235	

На подложке марки Б изготавливают тонкую фотобумагу, марки В — полукартон и марки Г — картон.

Основа для фотопластинок. Основой для производства фотопластинок служит листовое стекло. Главной составной частью стекла является кремнезем (кварцевый песок) и, кроме того, в него входят окислы кальция, магния, свинца и т. п. В зависимости от вида стекла в нем могут содержаться борная кислота, известняк, поташ, полевой шпат и др. От химического состава стекла и условий варки зависят его свойства.

Процесс изготовления стекла состоит из подготовки и смешивания в определенном соотношении основных материалов, составляющих его основу. Подготовленную массу (шихту) нагревают (варят) до определенной температуры в специальных стекловаренных печах. Листовое стекло вытягивают в ленту из печи с помощью специальных машин или прокатывают через валковую машину. Качество стекла выражается многими характеристиками: показателем преломления; пределами прочности при изгибе, растяжении и сжатии; коэффициентом светопрозрачности, химической стойкости и др.

§ 3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЭМУЛЬСИИ

На предприятиях, выпускающих светочувствительные материалы, принят поточный метод, который требует предельно точного соблюдения всех технологических режимов. Для каждого вида фотоматериалов готовят свой тип эмульсии. Малейшее отклонение от требований технологии изготовления эмульсии может привести к снижению ее качества и даже к браку.

Процесс приготовления фотографической эмульсии называют *синтезом* эмульсии. Сначала определяют исходное сырье и отweighивают желатин и химические реактивы, необходимые для синтеза эмульсии. Подготовленные вещества растворяют в отдельных объемах, используя для этих целей дистиллированную воду. Предусмотренные рецептом сырьевые материалы по очереди — вода дистиллированная 2 (рис. 54), желатин 3, нитрат серебра 5, хлорид натрия, бромид и иодид калия или аммония 4, водный аммиак и др. — вводят в эмульсионно-варочный котел 1. Для полного растворения этих веществ и образования однородной

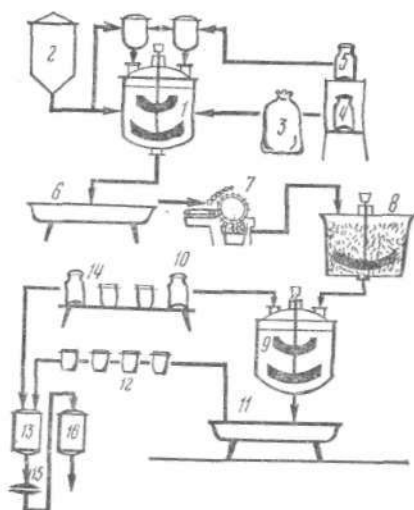
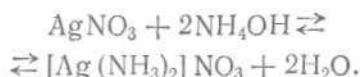


Рис. 54. Схема процесса синтеза фотографической эмульсии

массы котел нагревают, перемешивая содержимое механическими мешалками.

Синтез эмульсии может быть выполнен аммиачным или безаммиачным (кислым) методом. Для аммиачного метода в отдельном объеме готовят раствор из азотнокислого серебра AgNO_3 и водного раствора аммиака NH_4OH . При этом в растворе происходит химическая реакция с образованием аммиаката серебра:



Далее в расплав желатина с галогенидощелочной солью вводят раствор с аммиакатом серебра (аммиачный метод),

или раствор азотнокислого серебра (безаммиачный метод). В результате в эмульсионно-варочном котле идет химическая реакция (эмульсификация) с образованием галогенида серебра: аммиачный метод



безаммиачный (кислый) метод



В зависимости от скорости проведения операции различают мгновенную, продолжительную и дробную эмульсификацию. Скорость эмульсификации влияет на величину кристаллов галогенида серебра, образующегося в процессе химической реакции. Мгновенная эмульсификация приводит к одновременному образованию небольших кристаллов, равномерно распределяющихся в массе эмульсии. В связи с этим эмульсия по фотографическим свойствам будет иметь небольшую светочувствительность и высокий контраст. При медленном введении аммиаката серебра в расплав желатина с галогенидощелочной солью, т. е. при продолжительной эмульсификации, кристаллы галогенида серебра образуются не одновременно и разными по величине. Такие эмульсии имеют более высокую светочувствительность и меньший контраст. В процессе дробной эмульсификации аммиакат серебра вводят в раствор желатина с галогенидощелочной солью отдельными порциями, что создает наиболее благоприятные условия образования различных по величине кристаллов

галогенида серебра и относительно неравномерного распределения их в объеме эмульсии. Дробная эмульсификация способствует получению материала повышенной светочувствительности и невысокого коэффициента контрастности.

Сразу после эмульсификации следует стадия *первого (физического) созревания*, которая проходит в том же котле, где был начат синтез эмульсии. Первое созревание заключается в выдерживании эмульсии в течение заданного времени (до 1 ч) при температуре 40—60 °С. При этом эмульсия все время перемешивается мешалками. Такие условия способствуют дальнейшему росту крупных кристаллов за счет мелких. С этим связано название операции — физическое созревание, т. е. физический рост одних микрокристаллов и исчезновение других. В случае, если в эмульсии образуется не одна, а несколько различных солей галогенида серебра, например бромистое и иодистое серебро, то физическое созревание вызывает образование микрокристаллов, имеющих в своем составе два различных вещества.

Процесс первого (физического) созревания прекращают путем *студенения* эмульсии 6, т. е. ее охлаждения. Застывшая масса измельчается продавливанием через пресс с мелкими отверстиями или в других приборах 7. Измельченную эмульсию (так называемые эмульсионные червяки) промывают водой и удаляют из нее оставшиеся растворимые продукты реакции эмульсификации, а также остатки веществ, не вступивших в эту реакцию. Эмульсию промывают в специальных аппаратах 8. Измельчение эмульсии дает увеличение площади соприкосновения ее с водой и способствует более полному вымыванию химических веществ, не нужных в дальнейшем. Более совершенным по сравнению с промывкой является метод осаждения твердой фазы эмульсии полимерами и поверхностно-активными веществами. При этом обеспечивается возможность получения тонкослойных фотоматериалов с более высокой разрешающей способностью и лучшими физико-механическими свойствами. Промытую или осажденную эмульсию загружают в другой эмульсионно-варочный котел 9, где она плавится, затем в эмульсию вводят различные добавки 10, оказывающие определенное влияние на ее свойства. Очень часто в эмульсию добавляют некоторое количество свежего раствора желатина. Проходящая вслед за этим стадия выдерживания расплавленной эмульсии определенное время называется *вторым (химическим) созреванием*.

При втором созревании кристаллы не изменяются по величине, но благодаря повышенной температуре и добавкам возникают примесные центры, образующиеся в результате взаимодействия поверхности эмульсионных кристаллов с некоторыми микрокомпонентами, примесями желатина или со специально введенными реагентами.

Эти центры при съемке играют роль дополнительных центров светочувствительности, оказывающих на нее значительное

влияние. Большое влияние на светочувствительность и уменьшение зернистости оказывают также соединения золота, вводимые в небольшом количестве в эмульсию в виде солей. Повышение светочувствительности эмульсии происходит также при введении в нее солей, содержащих палладий, платину и иридий. После второго созревания эмульсию снова охлаждают в резервуаре 11, измельчают и расфасовывают в специальные бачки 12. Готовую эмульсию хранят в холодильнике.

§ 4. ПОЛИВ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВУ

Перед поливом эмульсии на основу в нее вводят в резервуаре 13 красители 14 — сенсibilизаторы, повышающие эффективную светочувствительность к различным участкам спектра, а также дубители и пластификаторы, способствующие формированию физико-механических свойств фотослоя. В эмульсию для цветных фотоматериалов вводят краскообразующие вещества. Все типы эмульсий содержат антисептики, предохраняющие их от разложения микроорганизмами. В состав некоторых эмульсий стали вводить красители желтого или иного цвета для увеличения разрешающей способности фотослоя и уменьшения ореолообразования. Затем эмульсию пропускают через фильтр 15, термостат 16, разбавляют дистиллированной водой и вводят различные добавки, что придает ей необходимую вязкость и другие заданные свойства. Одной из важных задач является обеспечение одинаковой толщины поливаемого слоя на всей площади фотопластики или оси фотопленки и фотобумаги (на всей партии выпускаемого фотокиноматериала). Полив эмульсии на основу осуществляется на поливных машинах.

Пленочная основа. При изготовлении черно-белых и цветных пленок эмульсию наносят на эластичную основу на машинах двухслойного полива (рис. 55, а). Основа для полива эмульсии подается из рулона 1 (рис. 55, б), установленного в специальное размоточное устройство, и по системе роликов поступает в магазин запаса 2. Основу продвигают тянущие вакуум-рольганги 3 и 4. Провисающая между ними петля перекрывает фотоэлемент, управляющий командным устройством, которое обеспечивает равномерную подачу основы к первому блоку 5 полива эмульсии. Благодаря этому имеется возможность задавать и автоматически поддерживать толщину ее нанесения. Эмульсия наносится на основу с помощью купающего (рис. 56, а) или набрасывающего (рис. 56, б) валика. При этом лучшие результаты дает набрасывающий валик, так как он обеспечивает более тонкое нанесение и не загрязняет эмульсией основу с обратной стороны. После нанесения эмульсии основа с нанесенным слоем попадает в камеру студения, где эмульсия охлаждается потоком холодного воздуха и становится прочной. Основу продвигают вакуум-рольганги 6 (см. рис. 55, б). Пройдя

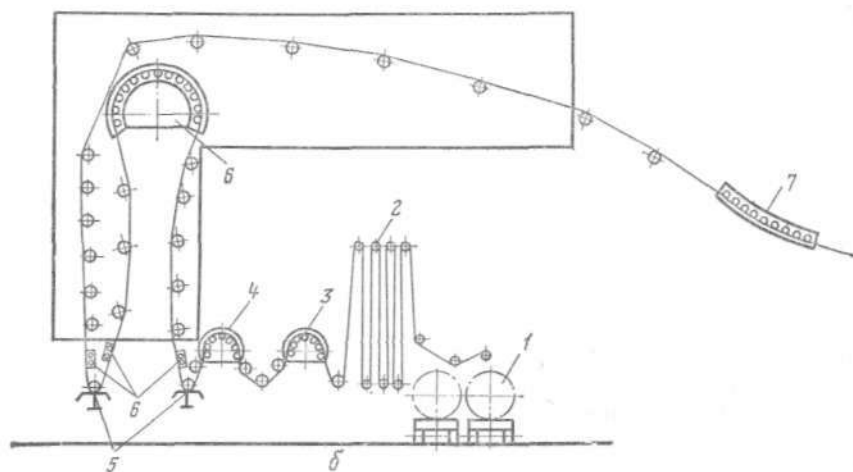
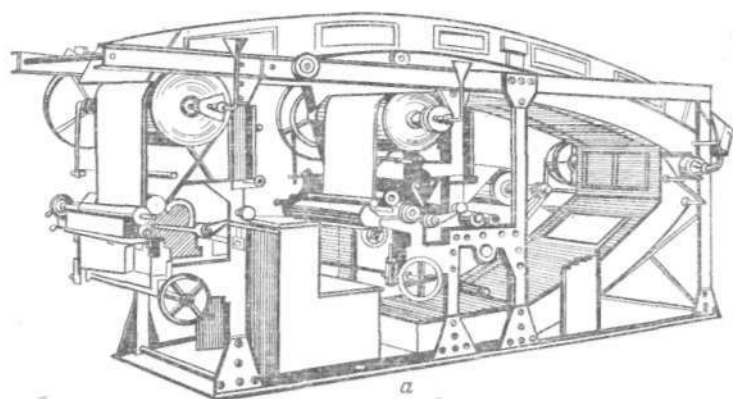


Рис. 55. Поливочная машина:
а — общий вид; б — схема

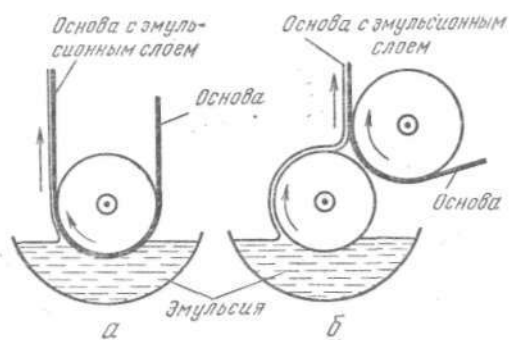


Рис. 56. Валики:
а — купающий; б — набрасывающий

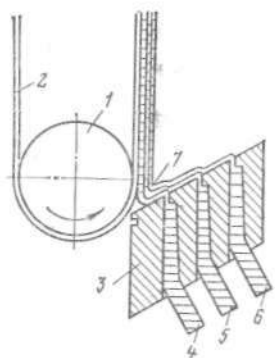


Рис. 57. Схема экструзионного устройства

холодильную камеру, пленка попадает во второй поливной блок, где наносится следующий эмульсионный или какой-либо вспомогательный слой, и затем снова поступает в холодильную камеру. Вакуум-рольганги 7 подают пленку к сушильному устройству. Существует несколько типов этих устройств, но основными являются сушилки фестонного (петельного) типа и барабанные.

Фестонная сушилка имеет вид длинного высокого коридора, в верхней части которого цепной передачей продвигаются в направлении от поливной машины палки, к которым подвешивают большими провисающими петлями фотопленку. В фестонной сушилке фотопленка проходит несколько участков, в которых создаются определенные температурные условия, влажность и скорость потока воздуха, что обеспечивает равномерную и быструю сушку эмульсии.

Барабанная сушилка имеет вид камеры с огромным барабаном. Фотопленка проходит длинный тоннель, где происходит предварительная сушка эмульсии, а затем попадает на барабан. Камера, где он установлен, разделена на несколько секций, в которые подается теплый очищенный воздух для сушки эмульсии. Готовую фотопленку сматывают в рулон.

Принцип полива эмульсии при изготовлении цветных фотопленок такой же, как и при изготовлении черно-белых. Для нанесения эмульсионных слоев применяют специальные машины многослойного полива или осуществляют полив в несколько приемов на машине обычной конструкции. Большее распространение получает полив эмульсий с помощью экструзионных устройств, которые обеспечивают одновременное нанесение на основу сразу трех и более слоев. Поливные устройства этого типа делятся на две группы: со свободным стеканием эмульсии и с принудительной ее подачей. Экструзионное устройство первой группы имеет поливной валик 1 (рис. 57), по которому движется основа 2. Экструдер 3 имеет дозирующие насосы, подающие эмульсии по трем каналам 4, 5 и 6. Выходя из щелевых капилляров, эмульсии свободно стекают в виде системы эмульсионных слоев в образуемый ими висящий мениск 7 между основой и экструзионным устройством. Под мениском создано разрежение, благодаря которому он прижимается к поверхности поливаемой основы и грани экструдера и не отрывается от них при движении поливного валика. Благодаря большой скорости полива жидкие эмульсии, вытекающие из каналов экструдера, находятся в горизонтальном положении непродолжительное время и не успевают смещаться. Этот метод полива сочетается с быстрой суш-

кой слоев в вакууме или направленных струях воздуха. Так как все операции, связанные с приготовлением и поливом эмульсии, проводят при неактивном для нее свете или в полной темноте, что затрудняет контроль полива и работы оборудования, применяют специальные приборы — электронно-оптические преобразователи (ЭОП), позволяющие видеть в темноте. Прибор напоминает внешне театральный бинокль; его закрепляют специальным пояском на голове перед глазами. В рабочем помещении устанавливают светильники, закрытые темными фильтрами, пропускающими только невидимые инфракрасные лучи. ЭОП преобразует эти лучи в более коротковолновые, видимые глазом. При этом предметы видны в окулярах электронно-оптического преобразователя в голубоватом свете, что отдаленно напоминает телевизионное изображение.

Кроме того, используют телевизионную технику. При этом за работой машин следят в специальном контрольном отделении. Оператор может наблюдать за прохождением фотопленки в различных участках машины и цеха на экране специального телевизора. Находящееся в контрольном помещении табло с системой сигнальных ламп и контрольных приборов сообщает о всех технологических неполадках (изменении температуры, влажности и т. п.). Управляют работой машин с центрального пульта, установленного здесь же.

Сразу после полива фотоматериал использовать нельзя, так как его свойства в течение некоторого времени резко меняются. В связи с этим рулоны готовой фотопленки выдерживают определенное время на складе цеха отделки и только после этого передают на дальнейшую обработку. В отделочном цехе рулоны разрезают на полосы определенной ширины или на куски прямоугольной формы. При изготовлении перфорированных фотопленок нарезанные полосы перфорируют. Точность резки и перфорирования устанавливается государственным стандартом и относится к одним из важных показателей. Фотопленку режут на специальных резательных машинах в продольном, а затем в поперечном направлении, если фотопленка форматная. Резательные машины имеют дисковые ножи, отстоящие друг от друга на расстоянии, необходимом для получения полос определенной ширины.

Перфорационные отверстия по краям фотопленки вырубают на специальных перфорационных станках. Фотопленка проходит скачкообразно через пробойное устройство, состоящее из двух основных деталей: матрицы и пуансона. За один удар на фотопленке пробивается несколько пар отверстий по двум ее сторонам. Затем подается новый отрезок и снова срабатывает пробойное устройство. Выбитые куски фотопленки и пыль удаляются струей воздуха. При вырубке по краю фотопленки делается маркировка с помощью светового фотокомпостера, установленного в зубчатом барабане лентопротяжного тракта станка. При этом

впечатывают название или шифр завода-изготовителя, кадровые отметки и некоторые другие данные. Видимое изображение этих данных получают одновременно с фотоизображением при проявлении экспонированной фотопленки. Затем рулоны фотопленки режут на отрезки заданной длины.

На всех стадиях отделки фотоматериалов осуществляется технический (например, сенситоматический) контроль. При резке фотопленки на рулоны по остающимся боковым кромкам определяют равномерность полива эмульсии. Качество фотопленок контролируют на специальных визитажных станках.

Прошедшие контроль форматные и рулонные фотопленки поступают в отдел упаковки, где их укладывают в светонепроницаемые конверты, а ролики заворачивают в фольгу и черную бумагу. После этого фотопленку упаковывают в фирменные конверты или коробки, на которых указывают завод-изготовитель, дату выпуска, светочувствительность фотопленки, государственный стандарт, время проявления и номер стандартного проявителя. Фотопленки шириной 61,5 мм перед упаковкой подклеивают к светозащитному бумажному ракорду и наматывают на пластмассовую катушку.

Бумажная основа. Метод полива эмульсионного светочувствительного слоя на подложку фотобумаг не отличается принципиально от полива слоев при изготовлении фотопленок. Перед тем как полить эмульсию, подложку баритуют, т. е. наносят на нее белый баритовый подслой, состоящий из раствора сильно задубленного желатина, серно-кислого бария и ряда других веществ, носящих вспомогательные функции (улучшение эластичности, придание какого-либо оттенка, матирование и т. п.). На бумагу наносят несколько баритовых подслоев. Их число зависит от типа поверхности производимой бумаги; при изготовлении матовых фотобумаг наносят меньше слоев, чем при изготовлении глянцевых. После нанесения каждого слоя баритовой массы бумага поступает в сушильную камеру. Затем она проходит между прессующими полированными валами устройств, называемых каландрами, которые делают ее поверхность гладкой. При изготовлении тисненых фотобумаг на баритовом подслое с помощью последнего вала со структурной поверхностью выдавливается соответствующий рельефный рисунок. Подслой фотобумаги предотвращает большое впитывание эмульсии в подложку при поливе и дает возможность в определенном количестве сократить ее расход. В дальнейшем он является надежным изолятором, предотвращающим нежелательное химическое взаимодействие галогенидов серебра эмульсионного слоя с активными по отношению к ним химическими веществами, которые могут в том или ином количестве присутствовать в бумажной подложке.

Поливные машины, наносящие эмульсию на бумажную подложку, по принципу работы напоминают машины, применяемые для изготовления фотопленок, и незначительно отличаются от них.

Стекла́нная основа. Для изготовления фотопластинок применяется форматное стекло толщиной 0,8—2 мм (при изготовлении фотопластинок крупного формата используют более толстое стекло). Стекло должно быть равномерной толщины, иметь ровные кромки, ровную поверхность, определенный коэффициент светопропускания, быть химически стойким по отношению к фоторастворам. Перед поливом эмульсии поверхность стекла очищают и промывают в специальной моечной машине. Затем на стекло наносят подсло́й, обеспечивающий прочное удерживание светочувствительного слоя. Моечную и подсло́йную машины обычно объединяют, и оба процесса следуют друг за другом непрерывно. Подсло́й представляет собой тонкий слой сильно задубленного желатина или жидкого стекла. Продвижение стекла осуществляется горизонтальными валиками. После нанесения подсло́я стекло продвигается в тоннель устройства, обеспечивающего быструю его сушку потоком нагретого воздуха. Эмульсия поливается на стекло на специальных поливных машинах (рис. 58). Стекло при этом перемещается валиками под полив-

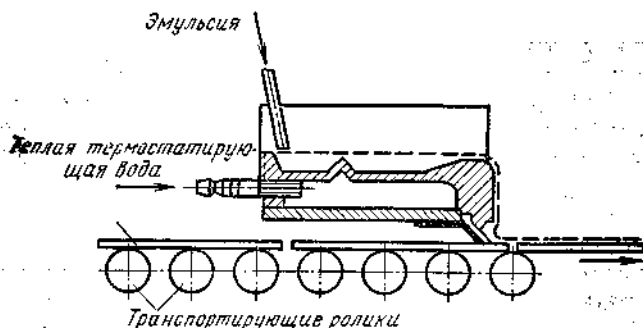


Рис. 58. Схема полива эмульсии на стекло

ным устройством, наносящим на него равномерный тонкий слой эмульсии. Толщина поливаемого слоя зависит от концентрации эмульсии, ее температуры и скорости продвижения стекла. Все это регламентируется технологическими режимами изготовления фотопластинок. После полива обратную сторону фотопластинок очищают от загрязнений, затем охлаждают и сушат.

ГЛАВА IV СЕНСИТОМЕТРИЯ

Сенситометрия — раздел фотографии, охватывающий теорию и методы измерений фотографических свойств светочувствительных слоев. Слово «сенситомет-

рия» в переводе означает измерение чувствительности. Существует интегральная сенситометрия, изучающая действие на фотослон ахроматического (белого) света, и спектральная сенситометрия, изучающая действие монохроматических (одноцветных) излучений, т. е. излучений определенной длины световой волны на фотослон. Способы измерения почернений, образующихся на светочувствительных материалах после воздействия света и химико-фотографической обработки рассматривает денситометрия. В самостоятельный раздел сенситометрии выделяют структурометрию, занимающуюся изучением структуры фотослоев и передачи ими мелких деталей.

Сенситометрия применяется для контроля технологических процессов производства и фотографической обработки фотоматериалов, количественного выражения их свойств. Основные сенситометрические характеристики указываются на упаковке фотоматериала или в сопроводительных документах. Эти данные позволяют подобрать экспозицию к фотоматериалу, наиболее подходящему по своим свойствам к каждому конкретному случаю съемки или печати.

В основе каждого способа, применяемого для сенситометрического контроля, должна быть цель и задача испытания, простота и доступность его осуществления. Оно должно быть надежным и предельно наглядным при получении характеристик в фотоматериалах при их испытании и практическом использовании.

Принцип общих сенситометрических испытаний заключается в воздействии дозированным излучением на фотоматериал и последующем определении получаемых результатов после химико-фотографической обработки образцов материала.

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЕДИНИЦЫ ФОТОМЕТРИИ

Фотометрия — раздел оптики, охватывающий вопросы измерения энергии света при его излучении, распространении, поглощении и рассеянии. Световые измерения проводят с помощью приборов, носящих общее название фотометров (люксметры, денситометры, спектрофотометры и др.).

Сила света — I — величина, характеризующая свечение источника и равная отношению светового потока к телесному углу, в котором он распространяется. Единица измерения силы света — кандела (кд) — это сила света, испускаемого с площади $1/600\,000$ м² сечения полного излучателя в перпендикулярном этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины.

Единица измерения светового потока — люмен (лм) — это световой поток, который посылает внутри телесного угла в 1 ср (стерадиан) источник света в 1 кд. Световой поток и сила света

связаны между собой соотношением

$$I = \Phi / \Omega,$$

где Ω — телесный угол.

Освещенность E — световая величина, выражаемая отношением светового потока к площади поверхности, на которую он падает. Единица измерения освещенности — люкс (лк) — это такая освещенность, которую создает световой поток в 1 лм на площади в 1 м². Освещенность, световой поток и площадь освещаемой поверхности P связаны между собой соотношением

$$E = \Phi / P.$$

Освещенность поверхности зависит от силы света источника, расстояния от него до освещаемой поверхности и угла падения лучей на эту поверхность. Эта зависимость выражена в двух законах освещенности:

освещенность E , создаваемая световым потоком, падающим на перпендикулярно расположенную к нему поверхность точечным источником света, прямо пропорциональна силе света I и обратно пропорциональна квадрату расстояния l^2 от источника до освещаемой поверхности:

$$E = I / l^2;$$

освещенность поверхности наклонными лучами прямо пропорциональна косинусу угла падения лучей:

$$E = I / l^2 \cos \alpha.$$

Яркость L характеризует величину излучения светящейся поверхности. Единица измерения яркости — кандела на квадратный метр (кд/м²) — отношение силы света к величине поверхности (проекция наблюдаемой поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения). Яркостью обладают источники света и освещенные тела. Яркость освещенной поверхности зависит от ее освещенности и отражательной способности.

Светимость M связана с понятием яркости и выражается отношением светового потока к площади излучающей его поверхности:

$$M = \Phi / S.$$

Единица измерения светимости — люмен на квадратный метр (лм/м²).

Все тела характеризуются следующими фотометрическими величинами: коэффициентом пропускания, коэффициентом отражения и коэффициентом поглощения.

Коэффициент пропускания τ — отношение светового потока, прошедшего через слой Φ_t , к световому потоку, упавшему на него Φ_0 :

$$\tau = \Phi_t / \Phi_0.$$

Коэффициент отражения ρ — отношение отраженного светового потока Φ_ρ к падающему световому потоку Φ_0 с указанием угла его падения i :

$$\rho = \Phi_\rho / \Phi_0.$$

Коэффициент поглощения α — отношение светового потока, задержанного слоем Φ_α , к световому потоку, упавшему на него Φ_0 :

$$\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_0.$$

Для световых свойств применяют показатели прозрачности, непрозрачности и оптической плотности.

Прозрачность θ , так же как и коэффициент пропускания τ , — отношение светового потока, прошедшего через фотослой Φ_τ , к световому потоку, упавшему на него Φ_0 :

$$\theta = \tau = \Phi_\tau / \Phi_0.$$

Непрозрачность O — величина, обратная прозрачности:

$$O = \frac{1}{\theta} = \Phi_0 / \Phi_\tau.$$

Величина непрозрачности изменяется от единицы (прозрачный слой) до ∞ . Непрозрачность показывает, во сколько раз уменьшается свет, проходя через слой.

Оптическая плотность D — десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания, или десятичный логарифм непрозрачности:

$$D = \lg O = \lg 1/\tau = -\lg \tau.$$

За единицу оптической плотности принята плотность слоя, ослабляющего проходящий через него свет в 10 раз.

Соотношение оптической плотности, непрозрачности и прозрачности

Оптическая плотность	Непрозрачность	Прозрачность
1	10	1/10
2	100	1/100
3	1 000	1/1000
4	10 000	1/10 000
5	100 000	1/100 000

§ 2. ОБЩЕСЕНСИТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ НА ПРОЗРАЧНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Общесенситометрическое испытание позволяет оценить качество светочувствительных материалов (негативных и позитивных фотоплёнок, киноплёнок и фотопластинок) путем определения величин, характеризующих

воспроизведение серой шкалы при действии белого света. Результатом испытания являются числовые значения общей и эффективной светочувствительности, коэффициента контрастности, среднего градиента, фотографической широты, плотности вуали.

Общесенситометрическое испытание включает: экспонирование испытуемого светочувствительного материала, химико-фотографическую обработку экспонированного материала, измерение почернений (оптических плотностей) и нанесение их значений на стандартный сенситометрический бланк, построение характеристической кривой и выражение с ее помощью результатов испытания в виде соответствующих сенситометрических показателей.

С помощью характеристической кривой могут быть определены следующие основные сенситометрические характеристики:

фотографическая светочувствительность — способность фотоматериала давать те или иные почернения под действием света и проявления; светочувствительность фотоматериала тем выше, чем меньше требуется света для получения определенного почернения, так называемого критерия светочувствительности;

эффективная светочувствительность — чувствительность фотоматериала к свету, прошедшему через светофильтр;

коэффициент контрастности — мера способности фотоматериала передавать яркость объекта съемки тем или иным различием почернений;

фотографическая широта — способность фотоматериала передавать с одинаковой степенью контрастности больший или меньший интервал яркостей объекта съемки;

фотографическая вуаль — общее почернение фотослоя, образующееся при его проявлении; это почернение возникает по всей поверхности слоя, в том числе и в участках, не подвергшихся действию света. Незначительная вуаль свойственна всем материалам. Повышенная фотографическая вуаль может появиться при неблагоприятных условиях хранения, а также при неправильной химико-фотографической обработке фотоматериала;

средний полезный градиент, служит для нахождения оптимального времени проявления сенситограммы, по которой определяют все сенситометрические параметры фотоматериала.

Экспонирование испытуемого фотоматериала проводят в специальном приборе — *сенситометре* (рис. 59). В этом приборе отдельным участкам фотослоя согласно определенной закономерности сообщают точно нормированное количество света.

Для испытания черно-белых фотоматериалов на прозрачной подложке применяют специальный сенситометрический

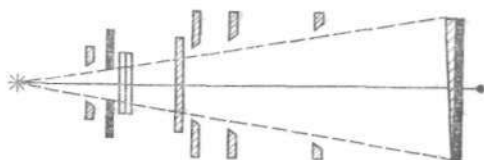


Рис. 59. Схема сенситометра

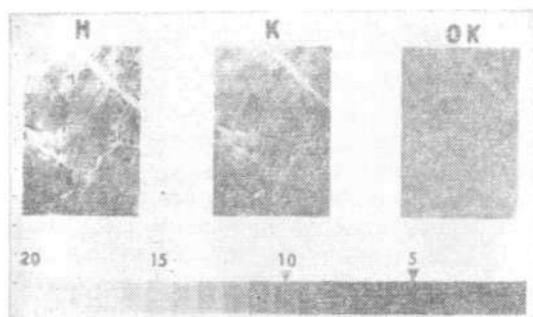


Рис. 60. Отпечаток с
тест-объекта для испыта-
ния фотобумаг

комплект ФСР-41, состоящий из сенситометра ФСР-41 и пульта питания ЭПС-123. В комплект входит также тест-объект ПС-24, который используют для испытания черно-белых фотобумаг (рис. 60).

Сенситометр ФСР-41 имеет источник света, состоящий из специальной лампы накаливания 1 (рис. 61) и стеклянных светофильтров 7 (одного, имитирующего съемку при дневном свете, другого — съемку в павильоне при лампах накаливания, а также при фотопечати и репродукционных работах).

Лампа накаливания с компактным светящимся телом должна иметь цветовую температуру 2850 К. Постоянство силы света обеспечивается регулированием режима питания лампы с помощью реостатов. Режим контролируют по точным электроизмерительным приборам (вольтметру и амперметру) пульта ЭПС-123.

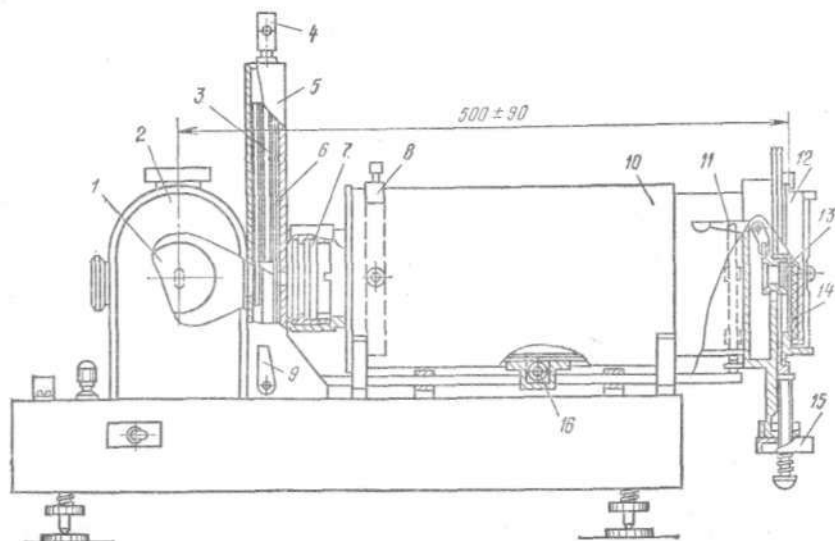


Рис. 61. Сенситометр ФСР-41

Стеклоанный светофильтр, имитирующий дневное солнечное освещение, воспроизводит цветовую температуру 5500 К, а другой светофильтр — цветовую температуру 3200 К.

Лампа сенситометра находится в кожухе 2. Светофильтры вставлены в специальное гнездо, и при необходимости их можно заменять.

Затвор 5 работает по принципу свободно падающей шторки со щелью и обеспечивает одноразовую экспозицию испытуемого фотоматериала в течение 0,05 с. Затвор состоит из двух штор: основной 3, падающей в пазах почти без трения, и вспомогательной 6, закрывающей экспозиционное окно во время взвода затвора подъемной штангой 4. Затвор опускается рычагом 11. Для открывания экспозиционного окна на продолжительное время при испытании низкочувствительных фотоматериалов предназначено тормозное устройство 9. Время экспонирования при этом отсчитывают с помощью секундомера.

Выдвижная пластина 8 имеет пять окон для добавочных светофильтров. Первое окно пустое, второе, третье и четвертое имеют стеклянные светофильтры соответственно желтый ЖС-18, оранжевый ОС-14 и красный КС-14, применяемые при определении эффективной светочувствительности. В пятое окно вставлен нейтрально-серый светофильтр с оптической плотностью 0,9. Его используют для испытания особовысокочувствительных фотоматериалов.

Корпус сенситометра 10 имеет две концентрические трубы. Внутренняя труба передвигается в некоторых пределах с помощью кремальеры 16, что позволяет менять расстояние между лампой и испытуемым фотоматериалом. В специальной рамке находится нейтрально-серый ступенчатый оптический клин 13. При экспонировании действует принцип шкалы освещенности — ряд количеств освещения (экспозиций) закономерно изменяется путем изменения освещенности при постоянном времени освещения. После экспонирования и химико-фотографической обработки испытуемого фотоматериала получают *сенситограмму*, представляющую собой изображение оптического клина с рядом полей различной оптической плотности (рис. 62). Ступенчатый оптический клин имеет разность оптических плотностей каждых двух соседних полей (постоянную клина) $0,15 \pm 0,005$. Число полей (ступеней) — 21, длина каждой ступени — 5 мм.

Перед экспонированием испытуемый фотоматериал 14 (см. рис. 61) заряжают в кассету 12. В комплект сенситометра входят кассеты двух видов: для форматного фотоматериала размером 9×12 см и открытого типа для впечатывания сенситограммы

Рис. 62. Сенсито-
грамма



в рулонный фотокиноматериал. Кассету заряжают в темноте или при неактивном освещении, а экспонирование проводят на свету. Кассету вставляют в рамку кассетной части сенситометра; ее можно передвигать вверх и вниз с помощью винта 15 в пять фиксируемых положений (т. е. на фотоматериал размером 9×12 см можно впечатать пять сенситограмм). Экспонирование с кассетой открытого типа для фотокинопленки проводят в темноте или при неактивном освещении.

Перед включением сенситометра следует ознакомиться по паспорту прибора со следующими данными: режимом питания лампы (сила тока и напряжение); силой света лампы; временем освещения; постоянной оптического клина K_c ; оптической плотностью одиннадцатого поля клина D_{11} ; расстоянием от лампы до фотоматериала; количеством освещения (экспозицией) на одиннадцатом поле сенситограммы (со светофильтрами искусственного дневного света и света лампы накаливания и с учетом времени освещения, даваемого затвором); оптической плотностью D добавочного серого светофильтра.

Реостаты пульта питания ЭПС-123 выводят на наименьшее напряжение. Корпус сенситометра устанавливают по уровню. Устанавливают расстояние между источником света и кассетой и закрепляют корпус в соответствии с данными паспорта.

Затем проверяют срабатывание затвора.

Выбор светофильтров зависит от типа испытуемого фотоматериала. Нажим на спусковую рукоятку приводит оптический клин в контакт с фотоматериалом с одновременным автоматическим срабатыванием затвора. В случае испытания низкочувствительных фотоматериалов в гнездо сенситометра вставляют нейтрально-серый светофильтр и дают большое время экспонирования, пользуясь тормозящим приспособлением затвора. Время экспонирования отсчитывают с помощью секундомера. В случае испытания очень высокочувствительного фотоматериала устанавливают серый светофильтр.

При определении эффективной светочувствительности фотоматериала экспонируют сенситограммы с необходимым цветным светофильтром.

На передней панели пульта ЭПС-123 смонтированы: вольтметр и амперметр для контроля напряжения и силы тока, реостаты с грубой и точной регулировкой режима питания лампы прибора. Режим работы прибора устанавливают по паспорту.

Кассету с заряженным фотоматериалом вставляют нижней частью в нижний паз рамки, а верхней — в верхний вырез рамки. Движением налево ее вставляют до упора и закрепляют задвижкой. Выдвигают шторку кассеты, взводят затвор, нажимают спусковую рукоятку, проводят экспонирование. Кассету передвигают сверху вниз или снизу вверх после каждого экспонирования; задвигают шторку кассеты и вынимают ее из рамки.

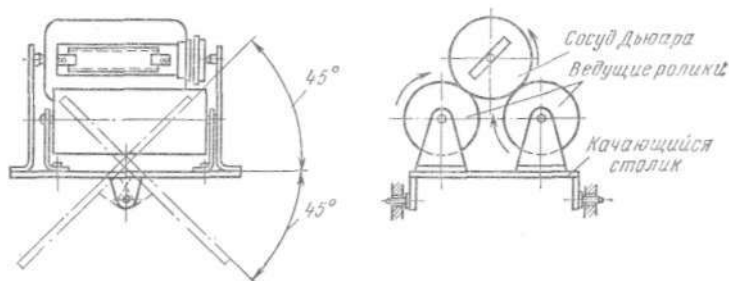


Рис. 63. Прибор для проявления сенситограмм

Экспонированный в сенситометре фотокиноматериал обрабатывают в нормированных проявляющих растворах.

В лабораторном устройстве, применяемом для обработки сенситограмм, необходимо обеспечить наилучшее перемешивание раствора. При проявлении в кювете толщина слоя раствора над сенситограммой должна быть не менее 1 см. Точное нормативное проявление осуществляется в цилиндрическом сосуде Дьюара глубиной 250 мм с внутренним диаметром 50 мм, на 3/4 заполненном проявителем (рис. 63). При обработке в сосуде Дьюара сенситограммы крепят на каждую из сторон пластинчатого держателя, вмонтированного в пробку (держатель должен быть расположен по оси сосуда). В процессе обработки сенситограмм в проявителе сосуд Дьюара вращается вокруг своей оси с частотой 12 мин⁻¹. Одновременно происходит покачивание сосуда под углом 45° к горизонтали с периодом около 1 с. Проявляют фотоматериал при температуре $20 \pm 0,3^\circ\text{C}$.

Для проявления сенситограмм применяют и прибор ФКЦ-12, который состоит из нетеплопроводного стакана 1 (рис. 64), разъемной крышки 2, кассеты 3 для сенситограмм, оси 4, на которую надевают кассеты с сенситограммами, и электродвигателя 5.

После проявления сенситограмму фиксируют без споласкивания в воде в кислом фиксационном растворе, промывают в проточной воде и сушат. Эффект на отдельных полях проявленных сенситограмм оценивается в величинах диффузной оптической плотности. Для измерения оптических плотностей сенситограмм применяют фотоэлектрические и визуальные денситометры. Оптическую плот-

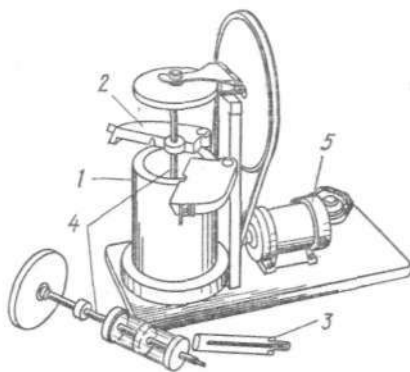


Рис. 64. Прибор для проявления сенситограмм ФКЦ-12

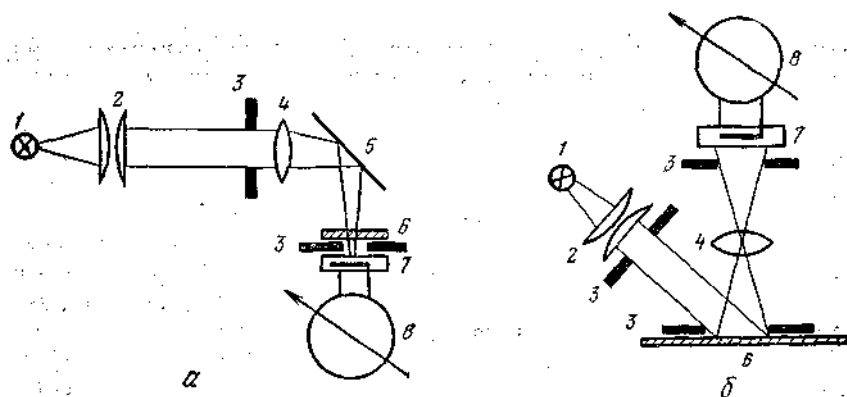


Рис. 65. Схемы денситометров для измерения оптических плотностей:
 а — в проходящем свете; б — в отраженном свете

ность вуали находят как среднее арифметическое из нескольких измерений неосвещенных при экспонировании участков сенситограммы.

Денситометры различаются по принципу измерений, виду светоприемника, характеру выдаваемых данных, величине измеряемого поля. В отношении величины поля необходимо указать, что в отличие от обычных денситометров приборы, рассчитанные на измерение малых по площади полей, называются *микрофотометрами*, или *микроденситометрами*. Денситометры, не имеющие устройств для автоматической регистрации измеряемых оптических плотностей, называются *нерегистрирующими*. В отличие от них *регистрирующие* приборы дают возможность автоматической записи всех измерений и даже вычерчивания по ним характеристических кривых.

Фотоэлектрические денситометры (объективные) применяют для измерения оптических плотностей в проходящем свете фотопленки или фотопластинки на прозрачной подложке и в отраженном свете фотобумаги.

Принцип работы денситометров состоит в следующем: свет от лампы 1 (рис. 65, а, б), пройдя через конденсор 2 и диафрагму 3, попадает в объектив 4 и затем, отклонившись зеркалом 5 (у второго прибора зеркала нет), попадает на измеряемую оптическую плотность 6. Часть света, прошедшая через измеряемую плотность, попадает на фотоэлемент 7. К фотоэлементу подключен гальванометр 8, отсчитывающий величину образующегося фототока. Шкала гальванометра имеет градуировку в величинах оптических плотностей. Перед началом измерений стрелку гальванометра устанавливают на нуль.

При замере оптической плотности сенситограммы измеряемое поле образца совмещают с отверстием диафрагмы. Значение

оптической плотности определяют по шкале гальванометра (шкала имеет градуировку в значениях оптических плотностей).

Денситометры, основанные на принципе сравнения, имеют один источник света, но в них использованы два световых пучка: измерительный пучок и пучок сравнения. На этом принципе, например, построен фотоэлектрический денситометр ДФЗ-10 (рис. 66, а) для измерения диффузных оптических плотностей полей только черно-белых сенситограмм. Он имеет два селеновых фотоэлемента, на которые попадают два пучка света — измерительный и сравнения. Прибор относится к группе нерегистрирующих. Принцип работы денситометра заключается в следующем. Измерительный световой пучок от источника света 1 (рис. 66, б) проходит через один из участков кругового оптического клина 2 и попадает через отверстие диафрагмы 3 на материал 4. Пройдя через нее и ослабившись, свет попадает на измерительный фотоэлемент 5. Пучок сравнения попадает на поверхность фотоэлемента 6, называемого компенсационным. Измерительный и компенсационный фотоэлементы 5 и 6 включены навстречу друг другу. В эту цепь включен гальванометр 7. В исходном положении, когда освещенность поверхностей фотоэлементов одинакова, разность фототоков равна нулю и указатель гальванометра устанавливается в нулевое положение. При перекрывании отверстия диафрагмы какой-либо плотностью освещенность поверхности фотоэлемента 5 уменьшится, что приведет к уменьшению образуемого им фототока и смещению указателя гальванометра с нуля. Указатель возвращают в исходное нулевое положение, выводя оптический клин 2 на более прозрачный участок и обеспечивая тем самым прежнюю освещенность поверхности фотоэлемента 5. Вместе с перемещением кругового оптического клина 2 перемещается связанная с ним шкала плотностей, по которой

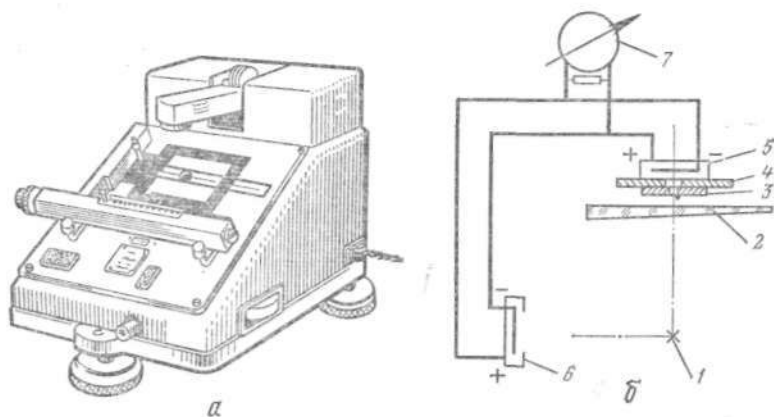
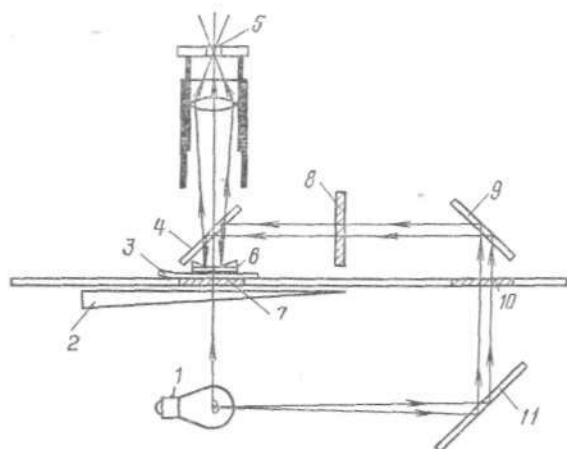


Рис. 66. Денситометр ДФЗ-10:
а — общий вид; б — схема

Рис. 67. Денситометр ИФТ-11



определяют диффузную оптическую плотность измеряемого образца только черно-белого фотоматериала. Диапазон измеряемых на денситометре ДФЗ-10 оптических плотностей 0—3.

В визуальных денситометрах используются два пучка света от лампы накаливания. Пучки попадают в поле зрения и выравниваются по яркости. Это поле видно в окуляре прибора в виде двух прилегающих друг к другу полукругов или концентрических кругов. В случае перекрытия одного из пучков света измеряемой плотностью равенство яркостей этих полукругов (или кругов) нарушается. Их можно снова сделать одинаковыми, увеличив количество света, проходящего через измеряемую плотность. Устройство, регулирующее эту интенсивность, соединено со шкалой, показывающей по этим изменениям величины оптической плотности измеряемого участка денситограммы. Проходящий через плотность свет можно изменять с помощью оптического клина, поляризуя свет и другими способами. Принцип работы денситометра ИФТ-11 с регулированием светового пучка с помощью кругового оптического клина со шкалой, градуированной в величинах оптических плотностей, следующий. Свет от лампы 1 (рис. 67) делится на два пучка, идущих к окуляру 5 разными путями. Один из пучков проходит через круговой оптический клин 2 и попадает на молочное стекло 7, на которое кладут измеряемый образец фотоматериала 3. Его плотность видна в окуляре 5 через отверстие в центре зеркала 6. Второй пучок падает на зеркало 11 и затем, отразившись от него, проходит через молочное стекло 10 и попадает на другое зеркало 9, отразившись от которого, свет идет через матовое стекло 8 к полупрозрачному зеркалу 4 и, отражаясь, освещает круглое зеркало 6 с отверстием в центре. В окуляре прибора видны измеряемая плотность и окружающее ее сравнительное поле. Освещенность обоих полей уравнивают путем вращения кругового оптического клина.

После этого на совмещенной с круговым клином шкале отсчитывают значение плотности.

Для измерения диффузных оптических плотностей черных, белых и цветных фотокиноплёнок и фотопластинок на прозрачной подложке используют денситометр СР-25М. Прибор работает по однолучевой (функциональной) схеме.

Приемником светового излучения служит фотоэлектрический умножитель ФЭУ-27. Измерительным элементом является электроизмерительный прибор со световой индикацией. В основе метода измерения оптической плотности использовано свойство ФЭУ изменять напряжение на делителе примерно обратно пропорционально логарифму освещенности при неизменной величине анодного тока. Задача цепи обратной связи заключается в том, чтобы автоматически поддерживать постоянным анодный ток при измерении светового потока, падающего на фотокатод. Постоянство анодного тока достигается путем изменения диодных напряжений. При этом между отношением световых потоков на катоде ФЭУ и изменением напряжения на диодах получается примерно логарифмическая связь. Это позволяет градуировать прибор, измеряющий ток делителя напряжения ФЭУ, в единицах оптической плотности.

Узлы прибора расположены на основании 6 (рис. 68). Сверху к основанию крепятся узел линейаризатора 1, панель управления 4, на которой находятся прижимное устройство, измерительный прибор и ручки управления: арретир и установка ЧД. Панель управления закрывается кожухом. Отсчет оптической плотности ведется по шкале измерительного прибора, проградуированного в единицах оптической плотности.

Снизу к основанию крепятся: узел светофильтров, осветительное устройство, электронный блок и обшивка, планка, диафрагма.

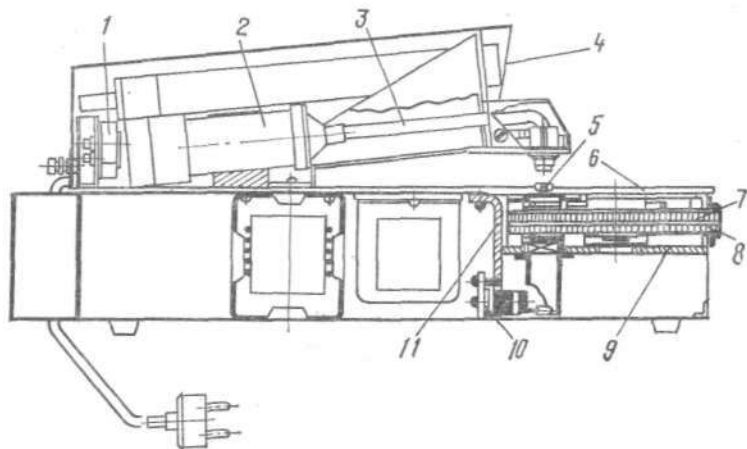


Рис. 68. Денситометр СР-25М

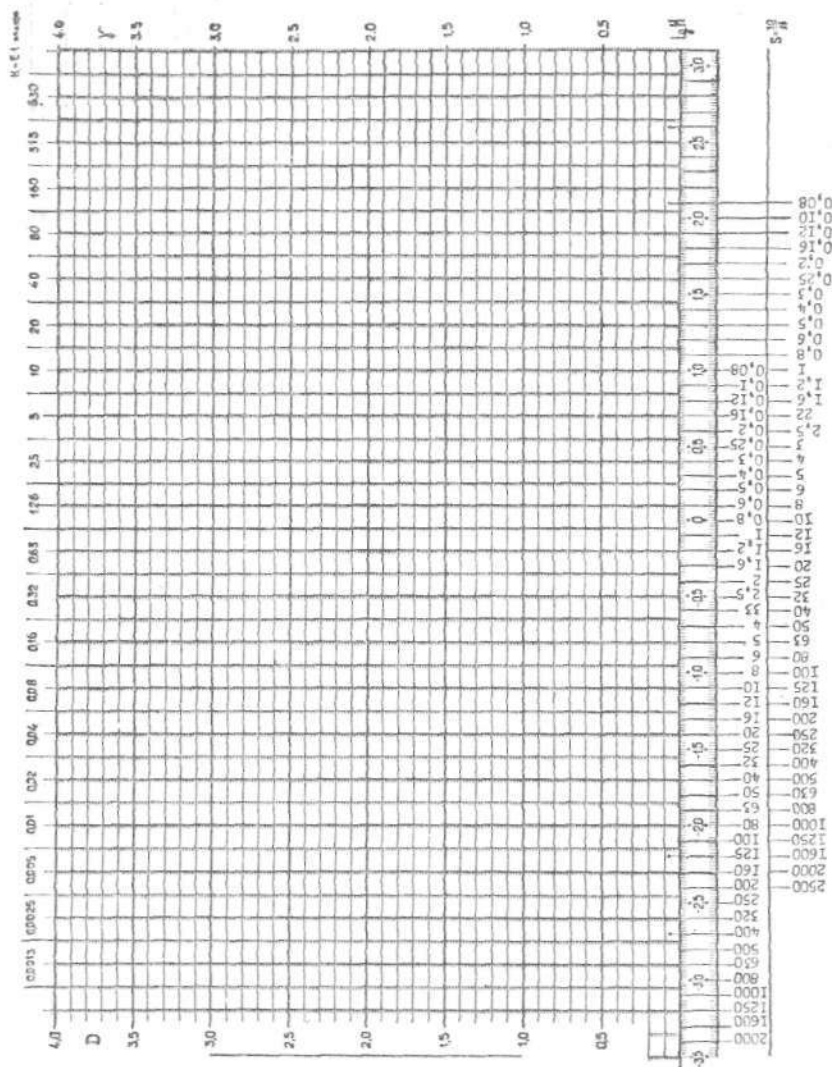


Рис. 69. Сенситометрический бланк для испытания негативных фотопленок

мы 5. Узел диафрагмы имеет три размера отверстий: 3, 1 и $0,5 \times 2,5$ мм.

Узел светофильтров представляет собой набор дисков со светофильтрами, имеющими фиксацию. Диск 7 содержит набор цветных светофильтров, нейтрально-серый светофильтр Д-2 и пластину из стекла К-8; диск 8 содержит эталонные плотности. Узел светофильтров закрыт светозащитным кожухом 9. Поэтому один из трех фильмовых каналов используется в зависимости от измеряемого фотоматериала.

Осветительное устройство состоит из стойки 11, к которой крепится конденсатор в оправе и осветитель 10.

Прижимное устройство предназначено для прижима волоконного световода к измеряемой сенситограмме. Световод 3 закреплен в тубусе, движущемся внутри втулки. По окончании измерения под действием пружины световод с тубусом возвращается в исходное положение.

Найденные при измерении почернений сенситограммы значения оптических плотностей наносят на так называемый сенситометрический бланк (рис. 69) в соответствии с вызвавшими их экспозициями. Затем нанесенные на бланк точки соединяют плавной линией и получают характеристическую кривую AF (рис. 70), выражающую зависимость оптических плотностей от логарифмов экспозиций, полученных фотоматериалом при экспонировании сенситограммы. На рисунке выделены основные участки характеристической кривой после химико-фотографической обработки: горизонтальный (правее точки A) — область вуали; криволинейный с возрастающим градиентом BC — начальный участок; CD — прямолинейный участок; криволинейный с падающим градиентом DE — конечный участок; криволинейный с отрицательным градиентом EF — область соляризации*.

Различают следующие два вида общесенситометрических испытаний: *сокращенное*, при котором все определения проводят на основании одной характеристической кривой, построенной по сенситограмме, проявленной в течение одного близкого

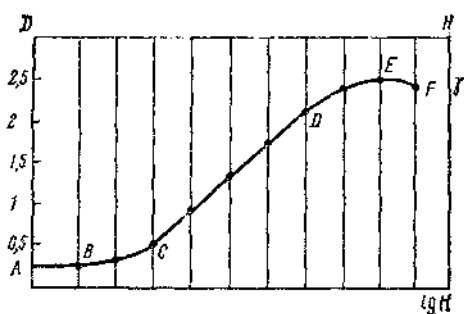


Рис. 70. Характеристическая кривая и ее основные участки

* На характеристической кривой область соляризации соответствует явлению обращения негативного фотонизображения в позитивное, обычно возникающее после химико-фотографической обработки переэкспонированного негативного фотоматериала.

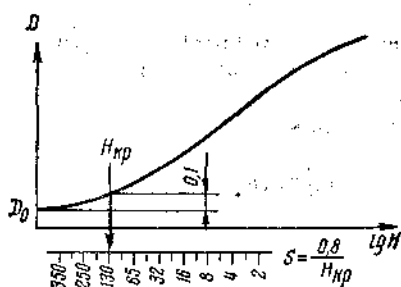


Рис. 71. Определение чисел светочувствительности негативных фотопленок

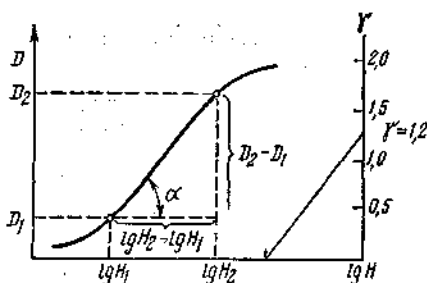


Рис. 72. Определение сенситометрических параметров

к оптимальному времени*; *полное*, при котором все определения проводят на основании нескольких характеристических кривых, построенных по сенситограммам, проявленным в течение разного времени.

Для характеристических кривых определяют числовые значения сенситометрических величин.

Общую светочувствительность определяют по формуле

$$S = K/H_{кр},$$

где K — условный коэффициент, значение которого приводится в соответствующих стандартах на определение чисел светочувствительности фотоматериалов; $H_{кр}$ — экспозиция, отвечающая оптической плотности, которая для всех фотоматериалов превышает плотность неэкспонированного участка фотоматериала на плотность, соответствующую критерию светочувствительности $D_{кр}$, лк·с; для разных фотоматериалов критерий светочувствительности различен и так же, как коэффициент K , приводится в стандартах на определение чисел светочувствительности.

С учетом численных значений коэффициентов K и критериев светочувствительности $D_{кр}$ общая светочувствительность для негативных черно-белых фотопленок $S = 0,8/H_{кр}$; для негативных черно-белых фотопластинок $S = 2/H_{кр}$; для негативных черно-белых кинопленок $S = 0,8/H_{кр}$; для позитивных (диапозитивных) фотопластинок $S = 10/H_{кр}$; для обрабатываемых черно-белых фотокинопленок $S = 5/H_{кр}$.

Критерий фотоматериалов для негативных фотопленок, кинопленок и фотопластинок $D_{кр} = 0,1 + D_0$; для позитивных фотокинопленок и диапозитивных фотопластинок $D_{кр} = 0,9 + D_0$.

На характеристической кривой находят точку, соответствующую критерию светочувствительности, и мысленно опускают из нее перпендикулярно на шкалу светочувствительности сенситометрического бланка, находящуюся под осью логарифмов экспозиций (рис. 71). Наличие этой шкалы избавляет от необходи-

* Оптимальное время проявления — время, отвечающее определенной (рекомендуемой) степени проявленности фотоматериала. Числовые значения рекомендуемой степени проявленности приводятся в стандартах на методы определения чисел светочувствительности фотоматериалов.

мости математических расчетов светочувствительности. Число общей светочувствительности и оптимальное время проявления указывают на упаковке фотопленки.

Определение сенситометрических параметров показано на рис. 72.

Для определения эффективной светочувствительности испытуемый фотоматериал экспонируют за дополнительными светофильтрами (желтым, оранжевым или красным), входящими в комплект сенситометра. Характеристическую кривую при определении эффективной светочувствительности наносят на сенситометрический бланк без учета поглощения светофильтра. Эффективную светочувствительность находят так же, как и общую.

Коэффициент контрастности определяется тангенсом угла наклона прямолинейного участка характеристической кривой к оси логарифмов экспозиций:

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = (D_2 - D_1) / (\lg H_2 - \lg H_1).$$

На практике коэффициент контрастности находится графически. Из основания штриха, нанесенного на бланке справа на оси логарифмов экспозиций, проводят прямую, параллельную прямолинейному участку характеристической кривой. В точке ее пересечения с вертикальной осью бланка, помеченной буквой γ , отсчитывают величину коэффициента контрастности (или градиента прямолинейного участка). Иногда при проведении массовых испытаний фотоматериалов применяют специальные приспособления-гаммаметры, позволяющие ускорить процесс определения коэффициента контрастности (рис. 73). Гаммаметры изготавливают на прозрачной фотопленке. При определении коэф-

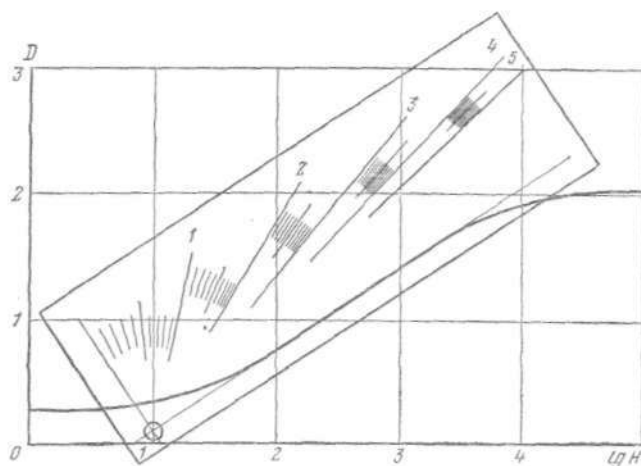


Рис. 73. Определение коэффициента контрастности с помощью гаммаметра

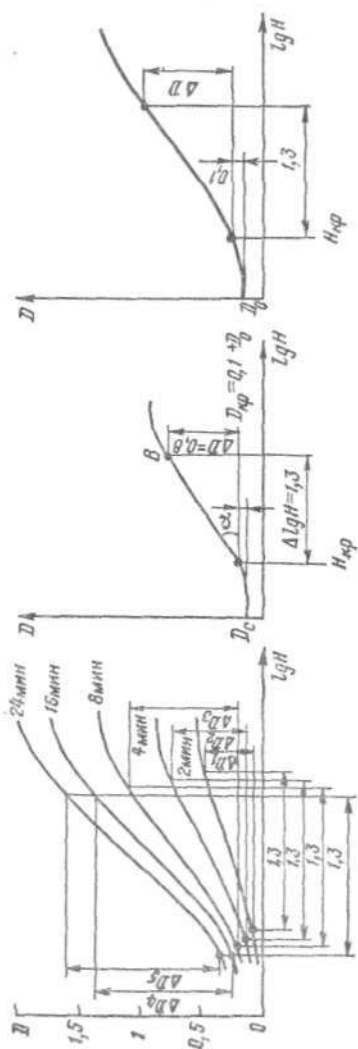


Рис. 74. Определение среднего градиента

коэффициента контрастности гаммаметр накладывают на сенситометрический бланк с нанесенной на него характеристической кривой и совмещают линию на его основании с прямолинейным участком, как показано на рисунке. Величину коэффициента контрастности отсчитывают в точке пересечения шкалы гаммаметра с осью ординат бланка (на рис. 73 $\gamma = 0,65$).

Средний полезный градиент q определяют при испытании негативных фотопленок. Мерой среднего полезного градиента служит разность плотностей ΔD в двух точках характеристической

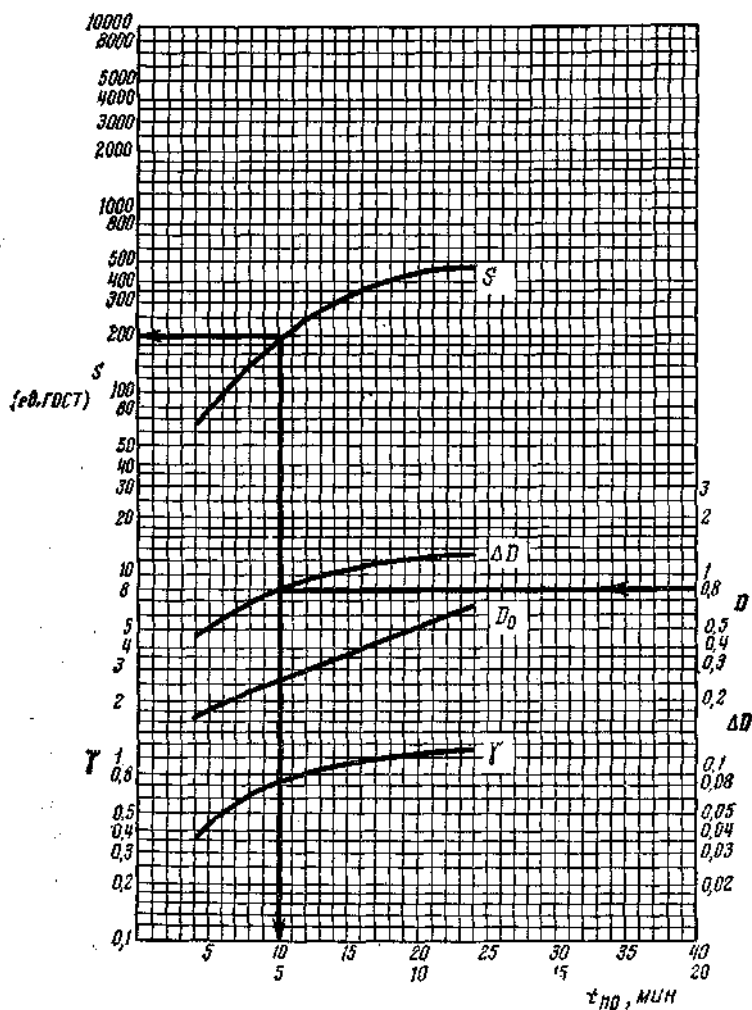


Рис. 75. Кинетика проявления, выраженная характеристическими кривыми

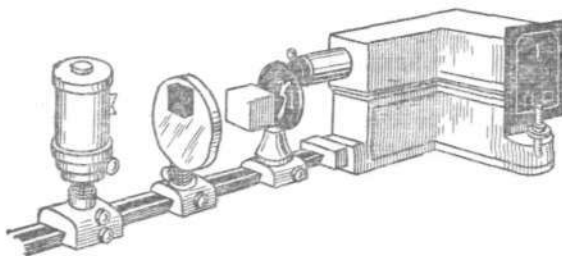


Рис. 76. Спектросенситометр ИСП-73

кривой, отстоящих друг от друга на $\Delta \lg H = 1,3$, из которых меньшая есть $H_{кр} = 0,1 + D_0$. Средний полезный градиент определяют по формуле

$$\bar{q} = \Delta D / \Delta \lg H = 0,8 / 1,3 \approx 0,62.$$

Средний градиент определяют также по графикам рис. 74.

При нахождении сеиситометрических параметров определяют оптимальное время проявления (рис. 75). Полученное при испытании значение светочувствительности округляют до значений, рекомендуемых стандартом (для случая, приведенного на рис. 75, светочувствительность после округления будет равна 250 ед. ГОСТ).

Фотографическая широта L соответствует разности логарифмов экспозиций конца и начала прямолинейного участка характеристической кривой:

$$L = \lg H_2 - \lg H_1.$$

При определении фотографической широты из точек начала и конца прямолинейного участка характеристической кривой опускаются перпендикуляры на ось логарифмов экспозиций H_1 и H_2 .

Оптическую плотность вуали D_0 определяют вычитанием плотности подложки из оптической плотности неэкспонированного участка сенситограммы. Плотность подложки находят измерением плотности отфиксированного, промытого и высушенного совместно с сенситограммой отрезка фотоматериала, который не был экспонирован и не обрабатывался в проявителе. Такую оптическую плотность называют плотностью нулевого фона.

При сенситометрическом испытании обрабатываемых материалов определяют общую светочувствительность, коэффициент контрастности, минимальную и максимальную плотности.

§ 3. СПЕКТРОСЕНСИТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ФОТОМАТЕРИАЛОВ. ЗЕРНИСТОСТЬ ФОТОСЛОЯ

Спектросенситометрическое испытание проводят для определения спектральной светочувствительности фотоматериала. Для этого спектр фотографируют в монохроматическом излучении на специальном прибо-

ре — спектросенситометре ИСП-73 (рис. 76). Прибор состоит из лампы 1 (рис. 77), конденсатора 2, затвора 3, щели 4, объектива 5, диафрагмы 6, призмы 7. Испытуемый фотоматериал 8 экспонируют в спектросенситометре несколько раз с увеличивающимися экспозициями, проявляют до определенного коэффициента контрастности и получают спектросенситограмму. Плотности спектросенситограмм измеряют для каждой длины волны (от 400 до 1000 нм) и строят семейства кривых, выражающих зависимость оптической плотности почернения от экспозиции при каждой длине волны. Спектральную чувствительность к монохроматическому излучению (длина волны λ) находят по формуле

$$S_{\lambda} = 1/H_{D=1+D_0},$$

где H — экспозиция, при которой получен критерий светочувствительности $D = 1 + D_0$.

В результате испытания в стандартном спектросенситометрическом бланке строят графики (рис. 78). Они выражают зависимость логарифма спектральной чувствительности от длины волны.

При больших увеличениях видно, что фотоизображение состоит из отдельных неравномерных почернений, представляющих собой скопления зерен металлического серебра. Заметная неравномерность почернения называется *зернистостью* или *гранулярностью*. Различают визуальные и инструментальные оценки зернистости. Одним из наиболее простых методов визуального определения зернистости является предложенный проф. Ю. Н. Гороховским метод, при котором контрольное поле сенситограммы постепенно увеличивают до тех пор, пока зернистость не станет

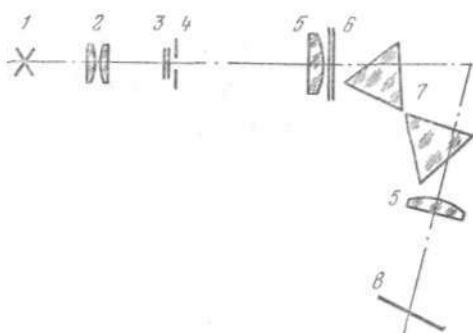


Рис. 77. Схема спектросенситометра

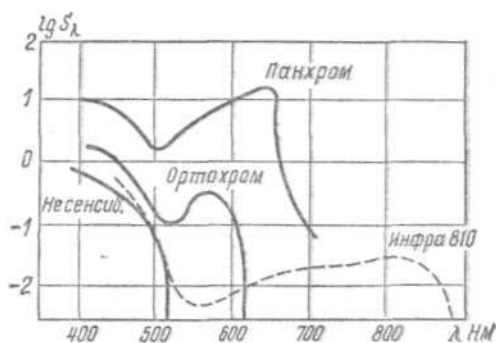


Рис. 78. Графики зависимости логарифма спектральной чувствительности от длины волны

заметна визуально. Величину зернистости (фактор зернистости) при этом определяют по формуле

$$q = 100/n,$$

где n — коэффициент увеличения, при котором зернистость становится заметной.

Наибольшее распространение получили инструментальные методы измерения зернистости. Равномерно засвеченный и проявленный образец помещают в микрофотометр и записывают распределение оптической плотности по длине образца.

§ 4. РЕЗОЛЬВОМЕТРИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ. ФУНКЦИЯ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ

Резольвометрия — раздел фотографической сенситометрии, посвященный измерению способности фотослоев и воспроизведению малых элементов оптического изображения. Фотоматериал испытывают с помощью специального прибора — проекционного *резольвометра* РП-2М. В результате испытания находят количество штрихов, отдельно передаваемых фотоматериалом на 1 мм изображения. Для этого в резольвометр устанавливают мир (рис. 79) и фотографируют ее. Мир состоит из 30 групп, в каждой группе по 5 штрихов. Ширина штрихов в каждой последующей группе на 10 % меньше, чем в предыдущей. Объектив резольвометра проецирует на фотоматериал уменьшенное изображение мира. Резольвометр РП-2М комплектуется двумя объективами. Один из них — ОС-16 — обеспечивает 32-кратное уменьшение, другой — ОС-80 — 60-кратное уменьшение. Первый из них применяется для определения разрешающей способности фотокиноматериалов общего назначения, второй — для оценки высокоразрешающих фотоматериалов. На полученном после экспонирования и проявления фотонизображении мира определяют с помощью микроскопа наименьшую группу, в которой еще видны раздельно все пять ее штрихов.

Для определения функции передачи модуляции требуется специальная *мира*, представляющая собой набор П-образных или синусоидальных штрихов с постоянным контрастом и меняющейся по определенному закону частотой штрихов (пространственной частотой). Характеристиками *мира* служат ширина ее линий, их частота и контраст.

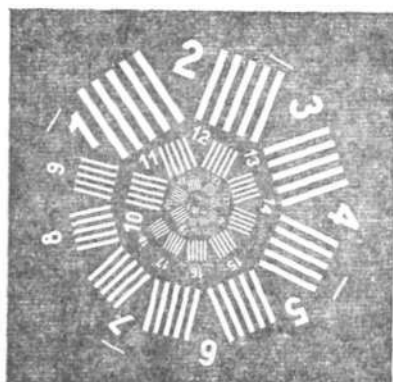


Рис. 79. Мира ГОИ

На рис. 80, а сплошной линией показана яркость линий синусоидальной миры. С увеличением частоты штрихов миры меняется их контраст, что наглядно иллюстрирует кривая, обозначенная пунктиром. Из рисунка видно, как падает контрастность фотонизображения с увеличением частоты штрихов миры. При получении функции передачи модуляции для каждой частоты штрихов находят отношение амплитуды фотоизображения к амплитуде оригинала миры, т. е.

$$T(N) = A_n/A_m.$$

Кривая, изображенная на рис. 80, б, выражает функцию передачи модуляции фотоматериала. Функция передачи модуляции может быть получена для всех стадий фото процесса. Качество оптического изображения оценивается функцией передачи модуляций объектива, эта характеристика применима к негативному процессу, фотопечати и позитивному процессу. Общую функцию передачи модуляции находят перемножением отдельных характеристик. В связи с известной сложностью определения и интерпретации функция передачи модуляции пока еще не получила широкого распространения; на практике пользуются показателями разрешающей способности.

§ 5. ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ. РЕЗКОСТЬ

Рассеяние света эмульсионным слоем фотоматериала влияет не только на разрешающую способность. Оно (рассеяние света) вызывает образование так называемых ореолов рассеяния (диффузных ореолов), ухудшающих резкость изображения. При попадании светового пучка на фотослой происходит рассеяние света на светочувствительных микрокристаллах галогенидов серебра (рис. 81). На участке, примыкающем к точке падения светового пучка, образуется ореол рассеяния. Прошедший через фотослой свет отражается от наружной стороны основы фотоматериала и, возвратившись к эмульсионному слою, образует в нем ореол отражения. Основное действие при этом оказывают лучи, попадающие на наружную сторону основы под углом полного внутреннего отражения и больше.

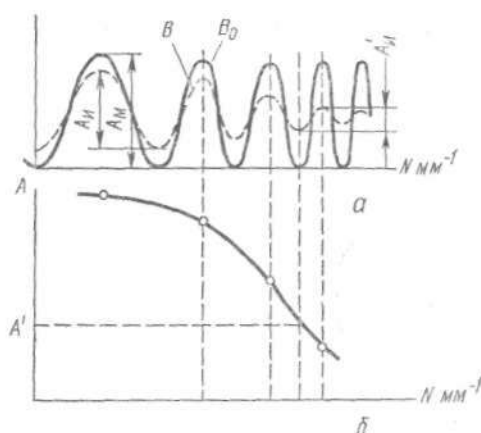


Рис. 80. Определение функции передачи модуляции:
а — распределение яркостей в мире (B_0) и ее фотонизображение; б — функция передачи модуляции фотоматериала

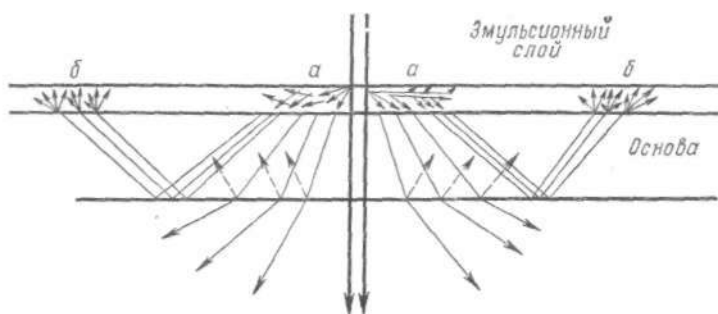


Рис. 81. Ореолы рассеяния (а) и отражения (б)

Оптическая плотность ореолов и их величина зависят от толщины эмульсионного слоя и основы, от размера микрокристаллов, наноса серебра, наличия и вида противоореольной защиты фотоматериала. Так, у фотопленок величина ореолов отражения меньше, чем у фотопластинок, что связано с разной толщиной основы.

Защита от ореолов рассеяния достигается одним из следующих методов: в эмульсионный слой фотоматериала вводят равномерно распределенную смесь специальных красителей, поглощающих рассеиваемый микрокристаллами свет; уменьшают толщину эмульсионного слоя, что дает уменьшение ореольного пятна диффузно рассеянного света; увеличивают содержание галогенидов серебра по отношению к желатину, благодаря чему обеспечивается быстрое поглощение им света.

Защита от ореолов отражения достигается следующими методами: между эмульсионным слоем и основой поливают специальный окрашенный противоореольный слой, поглощающий свет и обесцвечивающийся после съемки в процессе обработки фотоматериала; основу окрашивают в цвет, поглощающий световые лучи, которые действуют на фотослой; окрашенный противоореольный слой наносят на наружную сторону основы.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОБУМАГ

Фотобумаги испытывают с помощью тест-объекта ПС-24 (см. рис. 52), освещаемого эталонированной лампой сенситометра. Вмонтированный в тест-объект ступенчатый оптический клин позволяет определить коэффициент контрастности и светочувствительность фотобумаги. Ориентировочную степень ее контрастности можно определить с помощью трех негативов тест-объекта.

Контрастность фотобумаги определяют показателем полезного интервала экспозиций, который выражается разностью логарифмов экспозиций, соответствующих точкам минимального по-

лезного градиента в верхнем и нижнем участках характеристической кривой.

Для определения *полезного интервала экспозиций* на сенситограмме в участках малых и больших плотностей находят крайние различные поля (рис. 82) и рассчитывают полезный интервал экспозиций по формуле

$$L_g = 0,1 (N_2 - N_1),$$

где 0,1 — константа оптического клина тест-объекта; N_2 — номер крайнего различного на сенситограмме поля, соответствующего большим плотностям оптического клина; N_1 — номер крайнего различного на сенситограмме поля, соответствующего малым плотностям оптического клина.

В зависимости от полезного интервала экспозиций черно-белые фотобумаги по контрастности делятся на пять групп:

Контрастность	Полезный интервал экспозиций
Мягкая	Не менее 1,4
Полумягкая	1,2—1,3
Нормальная	1—1,1
Контрастная	0,8—0,9
Особоконтрастная	Не более 0,7

Светочувствительность фотобумаги определяют по формуле

$$S = 100/\sqrt{H_1 H_2}.$$

Показатель *фотографической гибкости* позволяет оценить фотобумагу в отношении возможности исправления ошибок в экспозиции, допущенных при печати, за счет изменения продолжительности проявления. Этот показатель определяется для фотобумаг «Унибром». Фотографическую гибкость определяют по формуле, %

$$P_{\phi} = S_1/S_2 \cdot 100,$$

где S_1 и S_2 — светочувствительность фотобумаги при проявлении соответственно в течение 6 и 2 мин.

Максимальную оптическую плотность $D_{\max}$ определяют по плотности наиболее темного поля на сенситограмме (на верхнем, или прямолинейном, участке характеристической кривой). Оптическую плотность фотобумаги измеряют на дензографе Гольберга, а также на денситометре ЦД-7 с приставкой ПДД-4 или на универсальном фотометре ФМ.

Тон фотоизображения выражается отношением величин оптических плотностей, измеренных при двух длинах волн видимой области спектра:

$$T = D_{450}/D_{650},$$

где нейтрально-черный тон $T = 1 \pm \pm 0,03$.

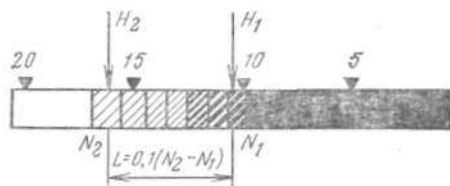


Рис. 82. Определение полезного интервала экспозиций

Оптическую плотность вуали определяют на неэкспонированном образце фотобумаги, разрезанном на четыре полоски. Три полоски проявляют соответственно 2, 4 и 8 мин, четвертую (контрольную) фиксируют без проявления. Наличие вуали устанавливают путем сравнения испытуемых полосок, проявленных в разное время с контрольной. Плотность вуали можно измерить с помощью денситометра, работающего в отраженном свете.

Близину фотобумаги определяют на отфиксированных образцах неэкспонированной бумаги при помощи лейкометра Цейсса.

Степень лоска определяют на отфиксированном образце на фотометре ФБС. Лоск выражается логарифмом отношения коэффициентов яркостей, измеренных при углах наклона образца фотобумаги $22,5^\circ$ и 0° , к оптической оси объективов фотометрической головки прибора.

§ 7. СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЗРАЧНОЙ ПОДЛОЖКЕ

Этот метод применяется для определения величин, характеризующих воспроизведение цветными фотоматериалами серой шкалы при действии белого света определенного спектрального состава.

В связи с тем что цветное изображение складывается из трех отдельных цветоделенных изображений (желтого, пурпурного и голубого), свойства фотоматериалов выражаются тремя характеристическими кривыми (рис. 83). Сенситометрические величины определяют отдельно для каждой из трех кривых и в совокупности для всех трех кривых, что выражает общие свойства

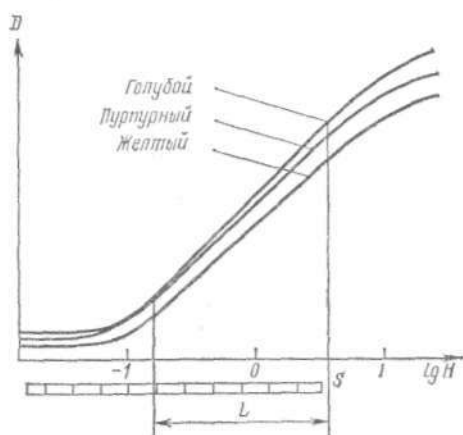


Рис. 83. Характеристические кривые негативного многослойного цветного фотоматериала

данного фотоматериала как единой системы. Основными сенситометрическими характеристиками цветных многослойных фотоматериалов являются (так же, как у черно-белых) светочувствительность S , коэффициент контрастности γ , фотографическая ширина L , плотность вуали D_0 , кроме того, баланс чувствительности B_χ и баланс контрастности B_k . Все характеристики, кроме двух последних, можно определять для каждого отдельно взятого слоя и для совокупности всех трех слоев. Общее испытание черно-бе-

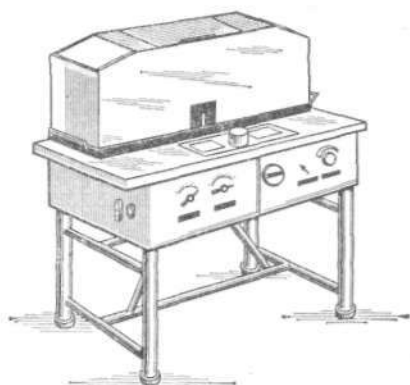


Рис. 84. Сенситометр ЦС-2М



Рис. 85. Денситометр ЦДФЭУ

лых и цветных фотоматериалов на прозрачной подложке проводят с помощью сенситометра ЦС-2М (рис. 84) и денситометра ЦДФЭУ (рис. 85), а также денситометров прямого отсчета модели «Макбет» марки ТД-504 (рис. 86, а, б), моделей «Брюмак», СР-25М (см. рис. 68), СР-26 и др.

Плотности полей сенситограмм измеряют поочередно через три цветных светофильтра, установленных на пути источника света денситометра. Плотность желтого цветodelенного изображения измеряют за синим, пурпурного — за зеленым, голубого — за красным светофильтром.

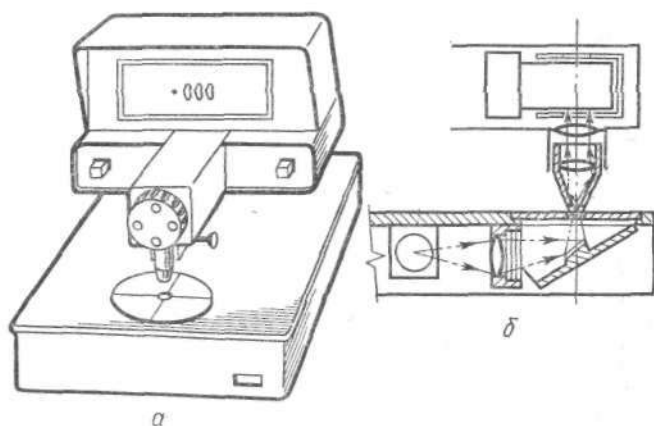


Рис. 86. Денситометр «Макбет»:
а — общий вид; б — схема

Цветное изображение на негативе состоит из трех красителей и распределено в трех основных слоях фотоматериала. Оно оценивается в величинах копировальной плотности $D_{к.п.}$. При их измерении за единицу принимают величину оптической плотности, дающей на одном из слоев цветного позитивного материала такой же эффект, как нейтрально-серое серебряное изображение плотностью 1.

Значение светочувствительности для каждого слоя цветного фотоматериала так же, как для черно-белого фотоматериала, определяется по каждой из трех характеристических кривых. При этом светочувствительность для каждой из трех характеристических кривых обозначают соответственно S_c , S_z , S_k (светочувствительности в синей, зеленой и красной частях спектра) или $S_{ж}$, $S_{п}$, $S_{г}$ (светочувствительности желтого, пурпурного и голубого фотослоев изображения).

Цветное изображение на позитиве оценивают в величинах визуальной эквивалентно-серой плотности, за единицу измерения которой принимают такое количество красителя в измеряемом слое, при котором он в сочетании с определенными количествами двух других красителей образует почернение, не отличимое глазом от нейтрально-серой плотности, равной 1. В этом случае плотности всех трех фотослоев по отдельности оцениваются равными.

Светочувствительность для каждой характеристической кривой вычисляют по формуле

$$S = K/H_{кр},$$

где K — постоянный коэффициент; $H_{кр}$ — количество освещения, соответствующее оптической плотности, которая на величину $D_{кр}$ (критерий светочувствительности) превышает минимальную плотность D_{min} , лк·с.

Указываемое на фотопленке значение светочувствительности называется *общей (экспонетрической) светочувствительностью многослойного фотоматериала* S_m . В паспорте фотопленки показывают наибольшее значение коэффициента контрастности для зелено- и красно-чувствительного слоя, так называемый общий коэффициент контрастности γ .

Фотографическую широту определяют для каждой характеристической кривой (L_c , L_z , L_k или $L_{ж}$, $L_{п}$, $L_{г}$):

$$L = \lg H_2 - \lg H_1,$$

где H_1 и H_2 — экспозиции, соответствующие началу и концу прямолинейного участка характеристической кривой.

Общая широта выражается для негативных и обращаемых материалов интервалом логарифмов экспозиций, в пределах которого все три характеристические кривые прямолинейны.

Значение *фотографической вуали* определяется отдельно для каждого светочувствительного слоя.

Баланс чувствительности цветного фотоматериала находят как отношение наибольшей светочувствительности одного из слоев к наименьшей:

$$B_q = S_{\max}/S_{\min}.$$

Баланс контрастности соответствует разности наибольшего и наименьшего частичных коэффициентов контрастности:

$$B_k = \gamma_{\max} - \gamma_{\min}.$$

Полную оценку свойств цветных пленок дают по результатам построения кривых зависимости коэффициента контрастности, плотности вуали и светочувствительности от времени проявления.

При сокращенном испытании сенситограммы проявляют в течение оптимального времени и по ним определяют основные сенситометрические характеристики.

Светочувствительность цветных фотобумаг находят по формуле

$$S = 100/H_{D=1+D_0}.$$

При испытании цветных фотобумаг определяют коэффициент контрастности по методу, описанному ранее. Полезный интервал экспозиций цветных фотобумаг определяют так же, как и черно-белых — по стандарту.

Для возможности применения в практической работе фотоматериалов зарубежных фирм приведем приближенный перевод чисел светочувствительности:

ГОСТ	ДИН	АСА	ГОСТ	ДИН	АСА
4	8	5	65	20	70
6	9	6	90	21	100
8	10	8	130	23	140
11	12	12	180	24	200
16	13	16	250	25	300
22	15	25	350	27	400
32	16	32	500	28	600
45	18	50	720	30	800

Примечание. В данной работе значения светочувствительности приведены в единицах государственного стандарта (ГОСТ).

§ 8. СВЕТОФИЛЬТРЫ

Светофильтром называется оптическая среда, изменяющая спектральный состав проходящего через нее света. Светофильтры, применяемые в фотографии, подразделяются на цветные (монохроматические, зональные, субтрактивные, компенсационные), нейтрально-серые, поляризационные.

Цветные светофильтры имеют избирательное поглощение света (рис. 87). В зависимости от компонентов, входящих в их

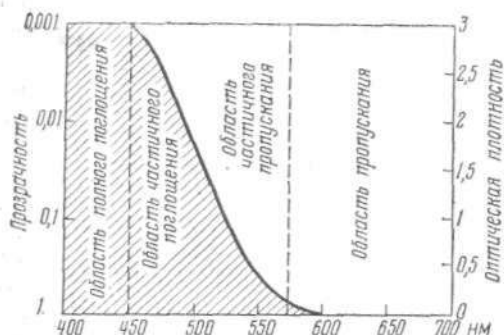


Рис. 87. Кривая спектрального поглощения светофильтра

состав, они по-разному изменяют проходящий через них свет. Монохроматические светофильтры пропускают и отражают лучи в узкой спектральной зоне. Их применяют в основном при научных исследованиях (рис. 88). Субтрактивные светофильтры (абсорбционные или корректирующие) пропускают широкую область спектра и используются при субтрактивной цветной печати. Каждый светофильтр избирательно поглощает в одной из трех областей спектра видимого светового пучка синий цвет с длинами волн 400—500 нм. Цвет субтрактивных светофильтров является дополнительным к цвету поглощаемых им лучей.

Корректирующие субтрактивные светофильтры (желтый, пурпурный, голубой) имеют 20 градаций оптической плотности, выраженной в условных процентах от 5 до 100.

Компенсационные светофильтры поглощают коротковолновую зону спектра и применяются при съемках чаще для черно-белых фотоматериалов. Их используют для перераспределения энергии по спектру светового пучка (для понижения цветовой температуры излучения).

Применяя светофильтр, избирательно поглощающий синие-фиолетовые лучи, можно добиться улучшения передачи черно-белым фотоматериалом цветных объектов. При выборе свето-

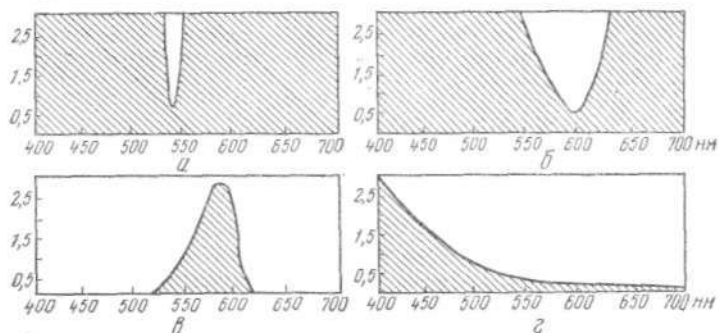


Рис. 88. Кривые спектрального поглощения светофильтра: а — монохроматического; б — селективного; в — субтрактивного; г — компенсационного

фильтра необходимо учитывать, что желаемый эффект может быть получен только в том случае, если съемочный фотоматериал чувствителен к цветам, проходящим через данный светофильтр.

С помощью светофильтров достигаются различные световые эффекты при съемке (съемка днем под ночь, подчеркивание дымки и т. д.), изменяется тональность фотонизображения, смягчается «жесткость» рисунка. Обычно пользуются твердыми светофильтрами, но имеются и жидкие. Твердый светофильтр представляет собой окрашенное в массу стекло или окрашенную желатиновую пленку. Жидкие светофильтры представляют собой окрашенные растворы, которыми наполняют кювету с плоскопараллельными стеклянными стенками. В одной из боковых стенок сделаны отверстия, закрываемые пробкой и предназначенные для наполнения кюветы.

Свойства светофильтров определяются с помощью приборов — спектрофотометров, измеряющих плотность светофильтра для различных длин волн. Спектральные характеристики съемочных компенсационных светофильтров, выражающие их пропускание в различных участках спектра, показаны на рис. 89. Светофильтры характеризуются кратностью — числом, показывающим во сколько раз необходимо увеличить время экспонирования при использовании данного светофильтра. Кратность светофильтра непостоянна. Она зависит от спектральной чувствительности используемого фотоматериала и спектрального состава съемочного освещения. При выборе светофильтра учитывают, что он осветляет цвета, близкие к его цвету, и затемняет обратные (дополнительные) ему цвета.

При съемке на цветные фотоматериалы применяют так называемые конверсионные светофильтры, приводящие состав пропускаемого ими света в соответствие с требованиями используемого съемочного фотоматериала. Они позволяют изменять цветовую температуру пропускаемого света.

При обработке фотоматериалов применяют защитные светофильтры.

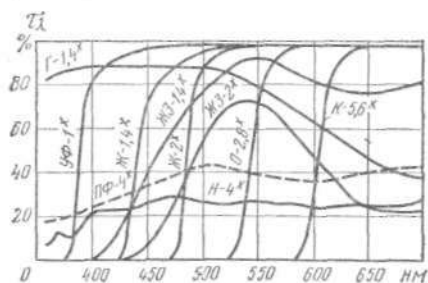


Рис. 89. Кривые спектрального поглощения съемочных светофильтров

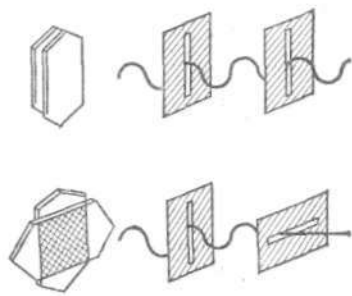


Рис. 90. Схемы действия двух поляризационных светофильтров

Применение защитного светофильтра

Для освещения рабочего места

113 (желто-зеленый)	Черно-белые фотобумаги
P-7 (светло-красный)	Фотобумага «Унибром», а также черно-белые позитивные фото пленки и диапозитивные фотопластинки
107 (темно-красный)	Изоортохроматические фотоматериалы высокой светочувствительности
166 (коричнево-зеленый)	Цветные позитивные фотоматериалы, в том числе фотобумага типа «Фотоцвет»
170 (темно-зеленый)	Цветные негативные и обрабатываемые и черно-белые панхроматические фотоматериалы
Оранжевый	Бромосеребряные и хлоробромосеребряные фотобумаги
Светло-красный	Диапозитивные фотопластинки, позитивные черно-белые фото пленки
Темно-красный	Изоортохроматические фотоматериалы
Зеленый	Панхроматические фотоматериалы

Для общего освещения лаборатории

103 (темно-зеленый)	Изопанхроматические фотоматериалы
208 (темно-красный)	Изохроматические фотоматериалы

Для фотолабораторных фонарей ФЛФ

№ 1 (красно-зеленый)	Черно-белые фотобумаги, диапозитивные фотопластинки, позитивные фото пленки, десенсибилизированные изоортохроматические фотоматериалы
№ 2 (красно-зеленый)	Изоортохроматические фотоматериалы
№ 3 (темно-зеленый)	Десенсибилизированные изопанхроматические и панхроматические фотоматериалы

Нейтрально-серые светофильтры предназначены для уменьшения количества света, проходящего на фотослой, без избирательного светопоглощения. Они применяются при фотокиносъемках в случае, когда невозможно уменьшить экспозицию путем диафрагмирования объектива, а также при макро- и микроустройствах, спектрофотометрических или фотометрических приборах. Эти светофильтры изготовляют из оптических стекол марки НС.

Поляризационные светофильтры снижают влияние отражений от неметаллических глянцевых поверхностей, не изменяя при этом спектрального состава проходящего через них света. Их применяют в том случае, если при съемке требуется устранить блики от воды, стекла, поверхности окрашенных блестящих предметов.

Поляризационный светофильтр имеет тонкую прозрачную пленку с закрепленными очень мелкими кристаллами поляризующего вещества, ориентированными в одном направлении. Плен-

ку крепят между двумя круглыми защитными стеклами. Светофильтр имеет двойную оправу: внешняя необходима для установки светофильтра на объективе, а внутренняя — для поворота его вокруг оптической оси и установки в положение, при котором происходит выделение и избирательное пропускание световых волн в определенной плоскости и устранение бликов на фотоизображении (рис. 90). Характеристика съемочных светофильтров приведена в табл. 2.

ГЛАВА V

АССОРТИМЕНТ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

§ 1. СТРОЕНИЕ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

Светочувствительные материалы состоят из двух основных частей: восприимчивого к действию энергии света эмульсионного слоя (одного или нескольких) и подложки (основы).

Толщина эмульсионного слоя негативных и позитивных фотопленок 5—15, фотопластинок — 15, фотобумаг — 5 мкм. Кристаллы галогенида серебра располагаются по толщине эмульсионного слоя в 20—40 ярусов и имеют диаметры в поперечнике от десятых долей микрометра для мелкозернистых до нескольких микрометров для крупнозернистых эмульсий. Некоторые сорта черно-белых негативных материалов имеют два эмульсионных слоя: нижний мелкозернистый и малочувствительный, верхний крупнозернистый и высокочувствительный.

Строение черно-белой позитивной пленки и фотобумаг приведено на рис. 91, *а—в*. На схеме показаны: 1 — эмульсионный слой (один или два), 2 — подслой, 3 — подкрашенная противоореольная основа, 4 — условно-бесцветная основа, 5 — противоскручивающий окрашенный противоореольный слой, 6 — защитный желатиновый слой, 7 — баритовый подслей, 8 — бумажная подложка.

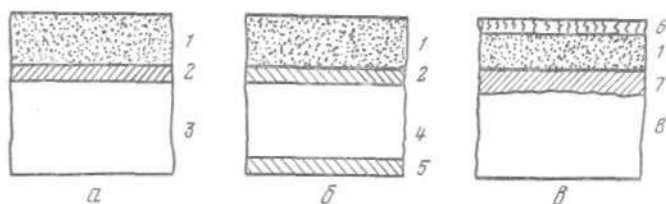


Рис. 91. Строение черно-белых катушечных перфорированной (*а*), форматной неперфорированной (*б*) позитивных фотопленок и черно-белой бумаги (*в*)

Табл. 2. Характеристика съемочных светофильтров

Светофильтр	Стекло	Ориентировочная кратность для черно-белых негативных пленок «Фото»		Поглощаемые лучи	Пропускаемые лучи	Действие светофильтра
		Дневной свет	Свет ламп накали- вания			
Ж-1,4* (желтый светлый)	ЖС-12	1,4	1	Ультрафиолетовые, фиолетовые, частич- но синие	Частично синие, го- лубые, зеленые, жел- тые, оранжевые, крас- ные	Улучшает цветопередачу и притемняет синие-голу- бые цвета, несколько вы- светляет белые, желтые и красные цвета
Ж-2* (желтый)	ЖС-17	2	1,4	Ультрафиолетовые, фиолетовые, синие	Голубые, зеленые, желтые, оранжевые, красные	Дает более сильный, чем светофильтр Ж-1,4* эф- фект. Несколько повыша- ет контраст изображения
О-2,8* (оранжевый)	ОС-12	2,8	2	Ультрафиолетовые, фиолетовые, синие, голубые, зеленые	Желтые, оранжевые, красные	Подчеркивает облач- ность неба, дает эффект грозы. Значительно повы- шает контраст изображе- ния
К-5,6* (красный)	КС-11	5,6	2,8—4	Ультрафиолетовые, фиолетовые, синие го- лубые, зеленые, жел- тые, частично оранже- вые	Частично оранжевые, красные	Фиолетовые, синие и го- лубые цвета получаются на отпечатке черными, оранжевые и красные — белыми

ЖЗ-1,4* (желто-зе- леный светлый)	ЖЗС-5	1,4	1,4	Ультрафиолетовые, фиолетовые, частично голубые	Частично голубые, зе- леные, желтые, оран- жевые, красные	По действию напоминает желтый светофильтр средней плотности
ЖЗ-2* (желто-зеле- ный средний)	ЖЗС-9	2	2	Ультрафиолетовые, фиолетовые, синие, го- лубые	Зеленые, желтые, оранжевые, красные	По действию напоминает желтый светофильтр большой плотности
Г-1,4* (светло-голу- бой)	СЭС-17	1,4	1,4—2	Желтые, оранжевые, красные	Фиолетовые, синие, голубые, зеленые	Снижает контраст сол- нечного освещения и под- черкивает передачу воз- душной дымки
УФ-1* (ультрафиоле- товый)	ЖС-10	1	1	Ультрафиолетовые	Весь видимый спектр	Снижает действие уль- трафиолетовых лучей и улучшает тем самым пе- редачу контраста при съемке в горах
Н-4* (нейтрально-се- рый)	НС-8	4	4	—	То же	Позволяет без измене- ния действующего от- верстия объектива умень- шить количество света, проходящего от объекта съемки на фотослой
ПФ-4* (поляриза- ционный)	—	2,8—4	2,8—4	—	Весь видимый спектр	Уменьшает яркость бли- ков и отражений от гля- нецких нематаллических поверхностей и отраже- ний от поверхности воды

Для лучшего удержания эмульсионного слоя на подложку фотопластинок и фотопленок наносят специальный подсло́й толщиной около 1 мкм. На бумажную подложку при изготовлении фотобумаг поливают баритовый подсло́й, разделяющий подложку и эмульсионный слой и предохраняющий последний от химического действия некоторых веществ, присутствующих иногда в бумаге. Баритовый подсло́й уменьшает впитывание эмульсии в подложку, повышает белизну фотобумаги или определяет ее цветность в случае его подкрашивания. При изготовлении фотобумаг со структурной поверхностью на баритовый подсло́й предварительно накатывают рельефный рисунок.

С обратной стороны основы фотопленки наносят слой, предупреждающий образование электроразрядов и порчу фотопленки. Этот слой также препятствует свертыванию фотопленки в сторону эмульсии. У некоторых фотопленок он выполняет роль противоореального слоя. В этом случае слой представляет собой перекись марганца или другого вещества, равномерно распределенного в слое желатина и обесцвечивающегося во время химико-фотографической обработки фотоматериала. Большинство фотоматериалов изготовляют с использованием специальных окрашенных основ, обеспечивающих противоореальность.

§ 2. ФОТОПЛЕНКИ

Фотопленки, предназначенные для художественной, репортажной и любительской фотографии, делятся на следующие основные группы: черно-белые негативные и позитивные, цветные негативные маскированные и немаскированные, черно-белые и цветные обрабатываемые.

Черно-белые фотопленки для общefотографических целей выпускают следующих марок: «Фото-32» — негативная малой светочувствительности (мелкозернистая); «Фото-65» — негативная средней светочувствительности; «Фото-130» — негативная высокой светочувствительности; «Фото-250» — негативная высшей светочувствительности.

Показатели и другие технические данные черно-белых негативных фотопленок регламентируются стандартом.

Свойства черно-белых фотопленок

Показатель	«Фото-32»	«Фото-65»	«Фото-130»	«Фото-250»
Светочувствительность, единицы стандарта	32	65	130	250
Рекомендуемый коэффициент контрастности	0,8	0,8	0,8	0,8
Время проявления для получения рекомендуемого коэффициента контрастности, мин	6—10	6—10	8—11	8—11
Максимальный коэффициент контрастности	1—1,3	1—1,3	1—1,3	1—1,3

Показатель	«Фото-32»	«Фото-65»	«Фото-130»	«Фото-250»
та, не менее	1,5	1,5	1,5	1,5
Оптическая плотность вуали, не более	0,04	0,05	0,06	0,1
Разрешающая способность, линий на 1 мм, не менее	135	110	100	82
Эффективная светочувствительность, % общей светочувствительности за светофильтрами				
желтым ЖС-18, не менее	40	40	45	50
оранжевым ОС-14, не менее	15	15	20	20
Фотографическая ширина красным КС-14, не более	2	2	2	3—8

Примечания: 1. Здесь приводятся характеристики для фотопленок, имеющих государственный Знак качества.

2. Приведенные характеристики достигаются при обработке фотопленок в строгом соответствии с требованиями технологических инструкций.

Зарядку кассет и химико-фотографическую обработку негативных пленок следует проводить в полной темноте. Гарантийный срок годности фотопленок светочувствительностью 32—2,5 года; 65 и 130—2 года; 250—1 год. За это время допускается уменьшение светочувствительности до 40 % и повышение плотности вуали до 50 %.

Обращаемые черно-белые фотопленки ОЧ-45 и ОЧ-180 предназначены для получения позитивного изображения. После съемки эти фотопленки обрабатывают методом обращения.

Основные показатели черно-белых фотопленок

	ОЧ-45	ОЧ-180
Номинальная светочувствительность, единицы стандарта		
при дневном свете	45	180
при искусственном свете	32	250
Коэффициент контрастности после химико-фотографической обработки	1,2—1,6	1,1—1,5
Разрешающая способность, мм	100	80
Оптическая плотность		
минимальная	0,09	0,09
максимальная	1,8	1,8
Предел сенсibilизации, нм	660—700	660—700

Основа этих фотопленок триацетатная, бесцветная, с черным противоореольным подслоем, обесцвечивающимся при отбеливании.

Фототехнические пленки предназначены для репродукционных работ. Фотопленки выпускаются в виде листов размером от 13×18 до 50×60 см и в рулонах. Фототехнические пленки обозначены буквами ФТ с двузначным или трехзначным индексом. Первая или две первые цифры при трехзначном индексе

обозначают приближенное значение коэффициента контрастности, что соответствует градации 1, 2, 3, 4, 10. Вторая и третья цифры индекса показывают характер сенсibilизации фотопленки, а именно: 0 — несенсибилизированная, 1 — ортохроматическая, 2 — изопанхроматическая. Буквы на месте цифр у некоторых технических фотопленок имеют определенные значения: М — матированная и т. д.

Технические фотопленки (табл. 3) имеют противоореольные противоскручивающие окрашенные слои, обеспечивающие при химико-фотографической обработке: несенсибилизированные — красного цвета, ортохроматические — темно-красного цвета, изопанхроматические — зеленого цвета.

Т а б л. 3. Основные показатели технических фотопленок

Пленка	Общая чувствительность	Рекомендуемый коэффициент контрастности	Оптическая плотность вуала, не более	Разрешающая способность, линий на 1 мм, не менее	Максимальная плотность, не менее
ФТ-10	11—22	$1,3 \pm 0,13$	0,1	100	2
ФТ-11	16—32	$1 \pm 0,1$	0,1	100	1,8
ФТ-12	65—130	$1 \pm 0,1$	0,15	73	2,2
ФТ-20	4—11	$2,2 \pm 0,1$	0,1	100	3
ФТ-22	Не менее 8	—	0,12	100	3
ФТ-30	1—2	Не менее 3,2	0,06	116	3
ФТ-31	8—22	3,2	0,08	116	3
ФТ-32	16—32	3,2	0,08	116	3
ФТ-М	Не менее 0,5	$0,4 \pm 0,1$	0,08	100	—
ФТ-41	0,5—1	4,5	0,08	183	3
ФТ-101 проявитель	0,2—0,4	10	0,06	250	3,6
ИП-3 проявитель	Не менее 0,5	8	0,06	200	—
Ф-1					

Фотопленки для микрофильмирования (табл. 4) используют при изготовлении копий с черно-белых и цветных оригиналов. В ассортимент фотопленок входят: черно-белые негативные — «Микрат-200», «Микрат-300», «Микрат-300В», «Микрат-900» и

Т а б л. 4. Основные показатели фотопленок для микрофильмирования

Пленка	Общая светочувствительность, единицы стандарта	Вид сенсibilизации	Рекомендуемый коэффициент контрастности	Разрешающая способность, линий на 1 мм, не менее
«Микрат-200»	2	Ортохром	3	196
«Микрат-300»	2,5	Изопанхром	4,5	300
«Микрат-300В»	8	Панхром	4	300
«Микрат-900»	0,02	»	3	660
«Микрат-позитив»	0,02	Ортохром	2,7	350

позитивная — «Микрат-позитив». Фото пленки этого типа выпускают неперфорированными и перфорированными шириной 35 мм и длиной 30 и 50 м и неперфорированными шириной 16 мм и длиной 30 и 60 м.

§ 3. ФОТОПЛАСТИНКИ

Фотопластинки негативные общего назначения. Фотопластинки этой группы предназначаются для получения негативных изображений в художественной и документальной фотографии. Выпускают фотопластинки следующих размеров, см: 6×9 ; 9×12 ; 10×15 ; 13×18 ; 18×24 ; 24×30 ; 30×40 ; 50×60 . Фотопластинки классифицируют по трем основным признакам:

по общей светочувствительности: «Фото-90», «Фото-130», «Фото-180», «Фото-250» и «Фото-350» (цифры показывают светочувствительность в единицах стандарта);

по спектральной чувствительности: изортохроматические с границей сенсibilизации 600 нм; изохроматические с границей сенсibilизации 640 нм; панхроматические с границей сенсibilизации 680 нм и понижением чувствительности в области 480—540 нм; изопанхроматические с границей сенсibilизации 700 нм;

по коэффициенту контрастности: мягкие с $\gamma_{рек} = 0,9$; нормальные с $\gamma_{рек} = 1,3$ и контрастные с $\gamma_{рек} = 1,7$.

Плотность вуали фотопластинок 0,1—0,2. Разрешающая способность фотопластинок «Фото-90» — 70 линий на 1 мм, «Фото-130» и «Фото-180» — 60; «Фото-250» и «Фото-350» — 55 линий на 1 мм.

Репродукционные фотопластинки. Ассортимент репродукционных фотопластинок определяется особенностями оригиналов, с которых производится репродукция. Эти фотопластинки выпускают двух групп: репродукционные полутонные и репродукционные штриховые. По контрастности первая группа включает нормальные с $\gamma_{рек} = 1,3$ и контрастные с $\gamma_{рек} = 1,7$, вторая — особоконтрастные с $\gamma_{рек} = 3$ и сверхконтрастные с $\gamma_{рек} = 4$ фотопластинки. По сенсibilизации полутонные и штриховые фотопластинки бывают двух видов: изортохроматические и панхроматические. Общая светочувствительность полутонных фотопластинок 5,5—11, штриховых — 4—8. Оптическая плотность вуали не должна превышать 0,1. Разрешающая способность полутонных фотопластинок 80, штриховых — 70 линий на 1 мм.

Диапозитивные фотопластинки. Их изготовляют двух степеней контрастности: особоконтрастные и сверхконтрастные. Кроме того, они различаются по спектральной чувствительности. Светочувствительность фотопластинок 1—2,8.

Основные показатели диапозитивных фотопластинок

	Контраст- ные	Особо- контраст- ные	Сверх- контраст- ные
Общая светочувствительность ($S_{D_0} + 0,85$)	0,5—2,8	1—2,8	1—2,8
Коэффициент контрастности, рекомендованный $\gamma_{рек}$	1,5	2,5	3
Время проявления для достижения рекомендованного коэффициента контрастности, мин	3—5	3—5	3—5
Оптическая плотность вуали минус оптическая плотность стекла, не более	0,06	0,06	0,06
Максимальная оптическая плотность, не более	1,7	2,5	3
Разрешающая способность, линий на 1 мм, не менее	100	70	65

§ 4. ФОТОБУМАГИ

Фотобумаги предназначаются для контактной и проекционной печати в художественной, документальной фотографии и для технических работ. Фотобумаги выпускают в виде форматных листов и рулонов. Размеры форматных листов, см: 6×9 ; 9×12 ; 9×14 ; 10×15 ; 13×18 ; 18×18 ; 18×24 ; 24×24 ; 24×30 ; 30×30 ; 30×40 ; 40×50 и 50×60 . Ширина рулонной фотобумаги, см: 6; 9; 12; 18; 24; 30; 36; 40; 60; 90 и 100; длина от 50 до 250 м. Ширина фотобумаги для машинной обработки, см: 7,6; 8,9; 10,8; 12,7 и 17,8; длина 75 и 150 м.

Светочувствительность черно-белых фотобумаг в зависимости от состава галогенида серебра лежит в пределах 0,2—15. Бромосеребряные и хлорбромосеребряные фотобумаги предназначаются для проекционной и контактной печати, а хлорсеребряные и иодохлорбромосеребряные — в основном для контактной печати. Основные показатели ассортимента фотобумаг приведены в табл. 5.

Состав галогенида серебра, контрастность, гарантийный срок хранения, вид поверхности, толщина подложки и цвет изображения фотобумаги указаны на ее упаковке.

Фотобумаги подразделяются на черно-белые и цветные. По назначению фотобумаги подразделяются на три вида: для контактной печати, для контактной и проекционной печати, для проекционной печати. По структуре поверхности фотобумаги подразделяются на гладкие и структурные. В свою очередь структурные бумаги делятся на бархатистую, зернистую (с разной степенью зернистости) и тисненую. Поверхность фотобумаг бывает глянцевой, полуматовой и матовой. В зависимости от плотности подложки фотобумаги делятся на тонкие, полукarton и картон. По цвету основы черно-белые фотобумаги подразделяются на белую и окрашенную. Фотобумаги изготовляют на бумаге-основе с белым баритовым покрытием, бумаге-основе с

Т а б л. 5. Основные показатели фотобумаг

Фотобумага	Градационная группа	Свето-чувствительность	Полезный интервал экспозиции	Максимальная оптическая плотность, не менее						
				Гладкая фотобумага				Структурная фотобумага		
				глянцевая	полуматовая	матовая		глянцевая	полуматовая	матовая
						с защитным слоем	без защитного слоя			
«Унибром»	Мягкая	8—15	Не менее 1,4	1,8	—	1,25	—	—	—	—
	Полумягкая	8—15	1,0—1,3	1,8	1,3	1,25	—	1,4	1,2	1,2
	Нормальная	8—15	1—1,1	1,8	1,3	1,25	—	1,4	1,2	1,2
	Контрастная	5—10	0,8—0,9	1,8	1,3	1,25	—	1,4	1,2	1,2
	Особоконтрастная	2—5	Не более 0,7	1,8	—	1,25	—	—	—	—
«Фотобром»	Полумягкая	5—15	1,2—1,3	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Нормальная	5—15	1—1,1	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Контрастная	5—15	0,8—0,9	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Особоконтрастная	2—5	Не более 0,7	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
«Новобром»	Полумягкая	5—12	1,2—1,3	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Нормальная	5—12	1—1,1	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Контрастная	5—12	0,8—0,9	1,8	1,3	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
«Бромпортрет»	Мягкая	3—10	1,4—1,7	1,8	1,35	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Полумягкая	3—10	1,2—1,3	1,8	1,35	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
	Нормальная	3—10	1—1,1	1,8	1,35	1,25	1,2	1,4	1,2	1,2
«Контабром»	Полумягкая	0,8—2	1,2—1,3	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	—
«Фотоконт»	»	Не менее 2	1,2—1,3	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	1,2
	Нормальная	2	1—1,1	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	1,2
	Контрастная	0,5	0,8—0,9	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	1,2
	Особоконтрастная	0,3	Не более 0,7	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	1,2
«Йодоконт»	Мягкая	Не менее 0,2	Не менее 1,4	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	1,2
	Полумягкая	0,2	1,2—1,3	1,8	—	1,25	1,2	1,4	—	1,2

полимерным покрытием и гибкой основе других видов (ткани, полимерные материалы и т. п.). По градационным группам фотобумаги подразделяются на мягкие, полумягкие, нормальные, контрастные, особоконтрастные.

Для технических работ используют технические регистрирующие фотобумаги. Эти фотобумаги предназначены главным образом для размножения технической документации и получения фотокопий со штриховых или полутоновых оригиналов, фотозаписи в различных регистрирующих приборах (осциллографах, кардиографах и т. п.), фототелеграфных аппаратах, для печати наклеек при изготовлении карт и других работ. Технические фотобумаги бывают следующих видов: рефлексные, фотостатные, технокопир, документные, осциллографные, фототелеграфные, картографические, регистрирующие УФ-67. Технические фотобумаги выпускают в виде листов и рулонов.

ГЛАВА VI

ФОТОСЪЕМКА

§ 1. ОСВЕЩЕНИЕ ПРИ СЪЕМКЕ

В фотовоспроизведении окружающего пространства свет играет важную роль. Объем и форма предметов, их цвет, фактура поверхности передаются на снимке благодаря освещению. При выборе световых условий решаются три основные задачи освещения: фотографическая, композиционная и изобразительная. *Фотографическая* задача связана с техническими вопросами, куда входят определение правильной экспозиции, создание на объекте съемки определенного интервала освещенностей и яркостей, который сможет передать используемый фотокиноматериал. При решении *композиционной* задачи освещения фотограф выбирает такие световые условия, при которых объект съемки и содержание снимка в целом были бы переданы документально с художественной точки зрения. Здесь в качестве элементов композиции используют тени, блики, световые пятна и т. п. Благодаря свету концентрируется внимание зрителя на основном объекте и скрываются второстепенные. *Изобразительная* задача состоит в решении вопроса передачи объемности предметов и пространства на гладкой двухмерной плоскости снимка. Передача пространства достигается, например, тональной перспективой, т. е. передачей близко расположенных предметов более контрастными по сравнению с удаленными предметами. Съемочное освещение помогает получить фотоизображения с выявлением формы, объема, фактуры и цвета объектов, с точным соответствием результатов съемки поставленной технической и художественной задаче.

По характеру освещение может быть светотеневым и тональным. При *светотеневом* освещении объем объекта съемки выра-

жается четко с помощью ярко выраженных светов и теней. Этот вид освещения создается направленным светом, падающим на объект под некоторым углом. *Тоновое* освещение характеризуется нечетким выражением объема объекта съемки. При этом объект освещается рассеянным светом, или светом, направленным параллельно оптической оси объектива фотоаппарата. Иногда кроме светотеневого и тонового освещения применяется так называемое локальное и силуэтное освещение. При *локальном* освещении световой пучок падает на ограниченную часть объекта или съемочного пространства. *Силуэтное* освещение отличается тем, что передний план затемнен, а предметы, находящиеся в глубине кадра, освещены более сильно.

Объект съемки обычно освещается в помещении несколькими источниками света, различающимися направлением светового потока и относительной интенсивностью и поэтому дающими неодинаковые освещенности на разных участках объекта.

Различают следующие шесть видов света (рис. 92):

общий заполняющий обеспечивает проработку деталей объекта съемки, находящихся в теневых участках;

основной направленный (рисующий) предназначен для освещения сюжетно важной части объекта съемки или нескольких объектов; он обеспечивает разницу освещенностей объекта и передает объем, форму и фактуру поверхности предметов, изображаемых на снимке;

выравнивающий подсвечивает теневую сторону объекта съемки и создает тем самым необходимый световой баланс между светлыми и затемненными участками. В качестве источника выравнивающего света иногда используют экраны-отражатели;

моделирующий создает блики и тени необходимых размеров и формы для получения того или иного эффекта, например подсветка глаз, волос и т. д.;

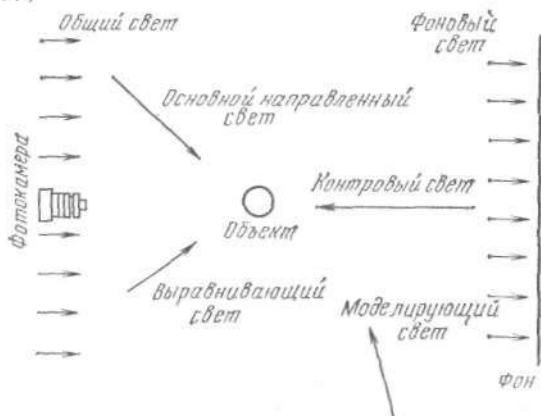


Рис. 92. Основные виды света

контрольный служит для обрисовки контура объекта и отделения его от фона;

фоновый дает необходимый для каждого конкретного случая уровень освещения поверхности фона.

К каждому из этих основных видов света предъявляются свои требования. В связи с этим конструируются специальные осветительные приборы, различающиеся между собой по характеру излучения, мощности, возможности изменять диаметр и интенсивность светового пучка и т. д.

Естественное освещение. Одной из особенностей этого вида освещения является его непостоянство как по интенсивности, так и по спектральному составу. Факторы, влияющие на дневное освещение, делятся на регулярные и нерегулярные. Регулярные факторы влияют на дневное освещение закономерно. К ним относятся время года, высота Солнца и т. п. Примером нерегулярных факторов являются состояние погоды, дымка и др. С увеличением высоты Солнца постепенно повышается интенсивность света. В зависимости от этого день принято делить на три периода: эффектное освещение — высота Солнца от 0 до 15°; нормальное освещение — высота Солнца от 15 до 60°; зенитное освещение — высота Солнца свыше 60°.

Период эффектного освещения является недостаточно благоприятным для съемки. Он характеризуется малой освещенностью, повышенным содержанием оранжево-красных лучей и высокими контрастами в световом и цветовом отношении.

Период нормального освещения наиболее благоприятен для съемки. Для него характерны высокая освещенность, небольшая световая и цветовая контрастность; в продолжении всего периода спектральный состав света изменяется мало.

Период зенитного освещения отличается очень высокой разницей в освещенностях горизонтальных и вертикальных поверхностей и является наименее благоприятным.

Освещенность поверхности зависит не только от периода освещения, но и от расположения ее по отношению к Солнцу, а также от погодных условий. В зависимости от плотности, высоты, расположения облачности по отношению к Солнцу изменяется освещенность поверхностей, контрастность и спектральный состав освещения. Большое влияние на освещенность, контрастность и на спектральный состав освещения объекта оказывает свет, отраженный от поверхности земли, а также от отдельных предметов. Для получения более выразительного светового рисунка объект снимают на улице при солнечном свете. Солнце при этом выполняет роль источника рисующего света. Выравнивание освещенностей (подсветка теней) осуществляется с помощью экранов-отражателей и иногда электроосветительных приборов или импульсных ламп.

Высокую контрастность освещения на объекте съемки можно снизить с помощью специальных полупрозрачных рассеивателей

света (диффузоров), которые следует применять вместе с отражающими экранами. Рассеиватели располагают над основным объектом таким образом, чтобы свет Солнца, проходя через них, рассеивался и затем освещал объект съемки. Благоприятные условия по спектральному составу и подсветке теней при съемке на улице создаются при наличии кучевой облачности, отражающей свет на объект съемки.

Искусственное освещение. При съемке большое применение находят источники электрического света. Они различаются по световым и электрическим характеристикам.

К световым характеристикам относятся: световой поток, светоотдача, спектральный состав, характер распределения света, срок службы лампы; к электрическим: напряжение, сила и вид тока, мощность, схема включения лампы в электросеть.

В группу электрических ламп накаливания, используемых в фотографии, входят обычные осветительные, фотографические, прожекторные и кинопрожекторные лампы. Все они относятся к газонаполненным и отличаются друг от друга формой, размерами колбы, конструкцией цоколя, формой светящегося тела.

Источники электрического света используются в специальных осветительных приборах, отличающихся друг от друга по конструкции, эксплуатационным и другим данным и применяемых при различных видах съемки.

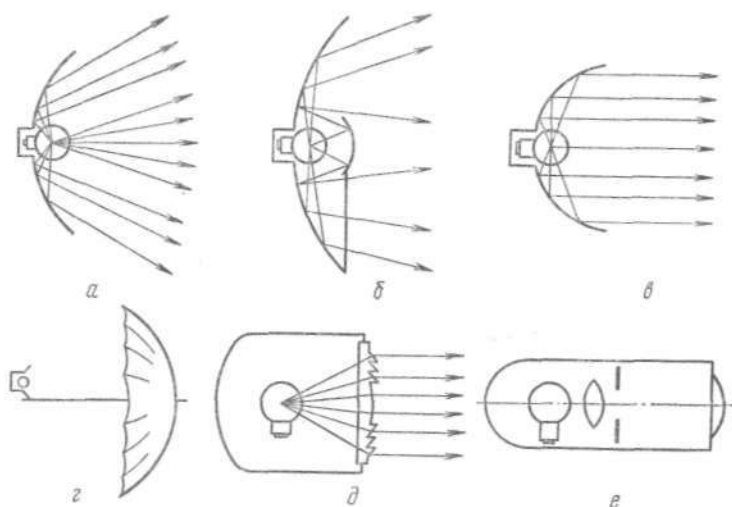


Рис. 93. Осветительные приборы:

а — светильник для общего освещения; б — светильник для освещения объектов отраженным светом (лампа закрыта экранирующим колпаком); в — светильник для освещения объектов направленным светом; г — светильник с отражателем «зонтик»; д — прожектор со ступенчатой линзой; е — прожектор, дающий узкий световой пучок

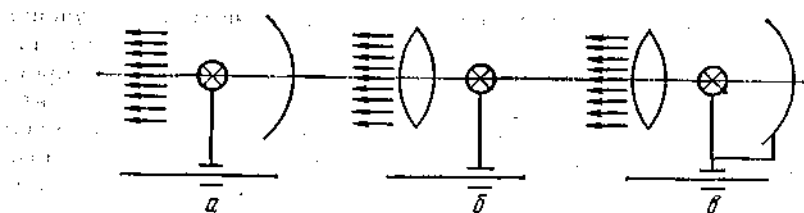


Рис. 94. Проекторы:

а — с контротражателем; б — с линзой; в — со смешанной оптикой

Осветительные приборы, применяемые для освещения объектов съемки, делятся на две самостоятельные группы: светильники и прожекторы (рис. 93).

По используемому источнику света осветительные приборы делятся на приборы с лампами накаливания, с люминесцентными лампами, с импульсными газоразрядными лампами.

К *светильникам* относятся осветительные приборы, рассчитанные на освещение предметов, находящихся на близком расстоянии. Перераспределение света, испускаемого лампой в светильнике, происходит благодаря диффузному отражению его от белого окрашенного, эмалированного или зеркального колпака (контротражателя). Приборы этого типа имеют угол рассеяния света до 180° и могут иметь вид световых площадок (рам) или многоламповых софитов. К светильникам относятся также и зеркальные лампы, имеющие угол рассеяния около 50° .

Прожекторы предназначаются в основном для освещения сравнительно удаленных предметов. Приборы этого типа делятся на три основные группы: прожекторы ближнего действия, прожекторы дальнего действия и универсальные прожекторы.

Угол рассеяния света, даваемого прожектором, может изменяться. При минимальном угле рассеяния достигается максимальная сила света, и с увеличением этого угла сила света соответственно уменьшается. Характер света, испускаемого осветительными приборами, выражается кривой светораспределения, показывающей силу света, распределяемую в пространстве перед прибором.

Одной из характеристик осветительного прибора является его оптическая схема. В этом отношении светильники подразделяются на две группы приборов: с зеркальным отражателем и с диффузным отражателем, а прожекторы делятся на три группы: с отражательной оптикой, с преломляющей оптикой и со смешанной оптикой (рис. 94).

К основным характеристикам осветительных приборов относятся также максимальная сила света (обычно для сфокусированного луча); полезный световой поток; угол рассеяния (для прожектора минимальный и максимальный); коэффициент

полезного действия; спектральная характеристика излучения (обычно совпадает с характеристикой источника света); качество (равномерность) светового пятна, даваемого прибором.

Выбор осветительных приборов применительно к тому или иному виду съемки определяется функциональным назначением прибора в схеме освещения объекта, т. е. видом света, который должен создаваться данным прибором; характером освещения, выбранным фотографом (преимущественно светотеневое, тональное, смешанное); светочувствительностью пленки, светосилой оптики; спектральной характеристикой применяемого фотоматериала.

В зависимости от способа крепления осветительные приборы делятся на напольные (штативные), настенные (консольные), потолочные (подвесные). Кроме того, существуют осветительные приборы с системой крепления, связанной с фотоаппаратом (например, электронно-импульсные приборы).

В состав прибора импульсного света входит отражатель с газоразрядной лампой и блок питания. Блок питания состоит из источника тока, электролитических конденсаторов, трансформатора, сопротивлений, переключателя и неоновой лампы, сигнализирующей о полноте зарядки конденсатора и готовности прибора к работе. Принцип работы электронно-импульсного осветителя состоит в следующем. Прибор подключают к батарее или электросети и клемме синхроконтakta СК (рис. 95) фотоаппарата. Конденсаторы C_1 и C_2 заряжаются от батареи или зарядного устройства Б. Индикаторная лампа Л, загораясь, сигнализирует о полноте зарядов конденсаторов. При нажатии на спусковую кнопку фотоаппарата синхроконттакт замыкается и конденсаторы разряжаются. Ток из конденсатора C_2 , проходя через импульсный трансформатор ИТ, повышается до нескольких тысяч вольт, что вызывает ионизацию газа в лампе ИЛ. Газ при этом становится токопроводящим. Происходит разряд конденсатора C_1 и световая вспышка.

Каждый вид импульсного осветительного прибора характеризуется своим ведущим числом, которое зависит от энергии импульсной лампы и конструкции отражателя; ведущее число приводится для каждого импульсного осветителя в расчете на светочувствительность фотоматериала. Ведущее число — величина, выражающая произведение диафрагменного числа K на расстояние l (м) от источника света до объекта съемки; это определяет условия экспонирования при съемке с использованием импульсных источников света. Ведущее число дает

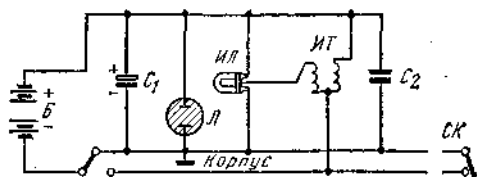


Рис. 95. Схема электронно-импульсного осветителя

возможность определить расстояние от осветителя до объекта и величину относительного отверстия. Если при съемке применяется фотоматериал в 2 раза большей или меньшей светочувствительности, то ведущее число соответственно должно быть увеличено или уменьшено в 1,4 раза.

Угол рассеяния света импульсных осветителей равен 50—60°. Лучшие условия освещения создаются с расстояния 2—3 м. Для профессиональных работ в комплекты приборов с газоразрядными источниками света входит до шести осветителей.

§ 2. ПОНЯТИЕ О ФОТОКОМПОЗИЦИИ

В переводе с латинского «композиция» означает составление, соединение, связь. Под композицией понимается выбор объектов съемки, гармоничное объединение отдельных элементов будущего снимка в единое художественное целое при использовании всех изобразительно-выразительных средств.

К основным элементам композиции относятся также и такие факторы, как освещение, расположение смыслового и зрительного центров снимка, использование тональной перспективы.

Перспектива на фотоизображении создается передачей изображения объекта съемки в соответствии с тем кажущимся изменением их масштаба, резкости, взаимной ориентации, которые определяют отдаленность объектов от точки съемки и обуславливают степень ощущения глубины пространства. При одном положении фотоаппарата получают правильное выражение геометрические размеры и плохо или совсем не передается объемность объекта, а при другом достигается хорошая передача всех трех его измерений: ширины, высоты и длины. Наибольшее распространение при всех видах художественной съемки получила съемка под углом к объекту.

Фотографируют обычно с высоты человеческого роста. Однако существует съемка с нижней и верхней точек, т. е. съемка с нижнего и верхнего ракурса. При съемке с нижнего ракурса объекты получают преувеличенной высоты и приобретают монументальность, а с верхнего — уменьшаются по высоте. Большие наклоны оптической оси фотоаппарата приводят к перспективным искажениям вертикальных параллельных линий, т. е. к их сходу. Так, в результате съемки высоких зданий с ближнего расстояния и с нижней точки кажется, что здание заваливается назад. Эти искажения заметны тем больше, чем больше угол наклона оптической оси фотоаппарата, чем меньше расстояние до объекта съемки и чем короче фокусное расстояние объектива. В зависимости от высоты точки съемки и наклона оптической оси съемочного фотоаппарата изменяется положение линии горизонта. Обычно линия горизонта располагается или подразумевается на снимке не посередине, а на высоте $\frac{1}{3}$ или $\frac{2}{3}$ кадра, что создает лучшую зрительную уравновешенность фотоизобра-

жения. Наклон линии горизонта по диагонали кадра может обеспечить получение динамичного снимка, например, при передаче движения. Созданию иллюзии движения помогает диагональное размещение объекта в кадре. Этому способствует также правильный выбор фазы движения объекта и иногда смазанность его контуров или фона.

Большое влияние на линейную композицию оказывает и расстояние до снимаемого объекта, выбор точки съемки, фокусное расстояние объектива фотоаппарата. При съемке *общим планом*, т. е. при съемке со сравнительно большого расстояния, получают мелкое фотоизображение объектов. Съемку *средним планом* ведут с более близких расстояний. Если объект занимает почти всю площадь снимка, то такой вид съемки называют съемкой *крупным планом*, а съемку в еще более крупном масштабе — съемкой *макропланом* (в плоскости снимка получают только часть объекта, фрагмент). Помимо принятого классического соотношения сторон кадра 2:3 и 3:4 получили широкое распространение квадратный и удлиненный кадры.

Значительное влияние на изобразительное качество снимка оказывает расположение изображения объекта съемки на картинной плоскости. Большое значение имеет умение выделить на снимке сюжетно важный объект. Эта цель обычно достигается комплексом изобразительных и технических средств, основными из которых являются: передача основного объекта в более крупном масштабе; показ основного объекта на переднем плане; передача основного объекта резким, а второстепенных — менее резкими; более высокая яркость сюжетно важного объекта (все остальные объекты находятся в затемненной зоне).

Тональная, или воздушная, перспектива передается воздушной средой, когда близкие предметы на снимке получаются более контрастными, чем удаленные. Тональная перспектива правильно передается при тумане и дымке. Ее можно усилить съемкой через голубые и синие светофильтры. Иногда применяют туманные светофильтры (ступенчатые и оттененные). При съемке с желтыми и оранжевыми светофильтрами эффект воздушной дымки уменьшается или исчезает вообще.

§ 3. ПОДГОТОВКА К СЪЕМКЕ

Процесс подготовки к фотографированию объекта на выбранном фотоматериале состоит из проверки исправности и установки фотоаппарата, зарядки кассет, подбора светофильтров, решения задач композиции и освещения объекта съемки, точки съемки, фокусного расстояния и определения экспозиции.

Вид и марка фотоматериала, подбираемого для съемки, зависят от условий съемки, требования к негативу и отпечатку, а также художественного замысла фотографа. Рассмотрим основные виды съемок. При естественном освещении съемка

проводится в солнечную безоблачную погоду, в облачную и пасмурную погоду, в утренние или вечерние часы. При съемке можно использовать приемы и бесконечное число вариантов различных средств, получить противоположный результат, т. е. в дневное время получить эффект ночного освещения (эту съемку называют днем «под ночь») и др. Съемка при естественном освещении с постоянно меняющимся освещением дает возможность использовать светотень и создать множество вариантов поставленной художественной задачи.

При искусственном освещении снимают в помещении с помощью разнообразных осветительных приборов. Стабильность световых условий позволяет фотографировать безграничное число вариантов с одним экспозиционным режимом. Для этого находят однажды определенную схему. Съемку производят с помощью ламп накаливания, с электронными импульсными осветителями в различных сочетаниях.

При подборе того или иного вида негативного или обращаемого материала руководствуются особенностями сюжета снимаемого объекта, соотношением его яркостей, особенностью окраски, условиями освещения и т. п. На подбор негативного материала влияет также и изобразительная задача, которая ставится перед снимающим. При использовании изопанхроматических материалов происходит заметное высветление частей объекта, имеющих красный цвет.

Необходимость применения светофильтров вызывается многими причинами. Основная из них — различие в спектральной чувствительности глаза и фотоматериала, что приводит к тем или иным искажениям в передаче объектов на снимке. Кроме того, нередко при съемке заранее задается условие подчеркнуть или высветлить тот или иной цвет, что также обеспечивается с помощью светофильтров. Каждый светофильтр высветляет цвета, близкие к его цвету, и притемняет обратные ему цвета. Иногда пользуются съемочными сетками, представляющими собой сплошную или с отверстием в середине сетку из белой или окрашенной ткани. С помощью съемочных сеток добиваются смягчения резкости фотонизображения по всему кадру или по его краям. Степень влияния сетки зависит от плотности ткани и ее рисунка, цвета и расположения сетки по отношению к объективу фотоаппарата. С помощью оттененных и ступенчатых серых фильтров можно добиться плавного или резкого притемнения той или иной части кадра.

§ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

Как известно из фотографической сенситометрии, светочувствительный слой способен правильно воспроизвести сравнительно небольшой интервал экспозиций. Поэтому при съемке необходимо обеспечить точное соответствие пропускаемого объективом света возможностям фо-

тослая съемочного материала. Даваемая им экспозиция зависит от времени экспонирования и относительного отверстия объектива (числа диафрагмы). В общем виде экспозиция определяется как произведение освещенности фотослоя E на продолжительность (время) освещения t , т. е. $H = Et$ (лк·с).

Экспозицию (время экспонирования и числа диафрагмы) рассчитывают по среднему количеству освещения, действующего на фотослой.

Освещенность фотослоя при съемке зависит от яркости снимаемого объекта, относительного отверстия объектива, его эффективной светосилы. Яркость объекта съемки тем больше, чем больше освещенность и коэффициент отражения его поверхности.

Для правильного воспроизведения объекта съемки очень большое значение имеет его широта (интервал яркостей). Эта величина выражается как отношение яркости самого темного и самого светлого участков объекта. Интервал яркостей может в определенных пределах регулироваться соответствующей установкой освещения. Для того чтобы дать представление о широте (интервале яркостей), можно указать, что при съемке портрета блондина интервал яркости 1:10, а бронека — 1:100.

Экспозиция при съемке может быть определена: с помощью расчетных таблиц или табличных экспонометров; с помощью оптических экспонометров; с помощью фотоэлектрических экспонометров и яркомеров.

При расчете экспозиции с помощью *таблиц* или построенных на их основе табличных экспонометров учитываются место, объект и время съемки, метеорологические условия, светочувствительность фотоматериала, относительное отверстие объектива фотоаппарата. Расчетные таблицы составляют на основании средних опытных данных. Они состоят из нескольких разделов: место съемки, время съемки и т. д. В каждом разделе условиям съемки приданы условные числа той или иной величины. При расчетах в таблицах находят условия съемки, складывают отвечающие им числа и по найденной сумме в последнем разделе таблиц находят время экспонирования. Метод определения экспозиции с помощью таблиц и табличных экспонометров дает недостаточно точные данные и может применяться только при черно-белом фотографировании, где не требуется особо большой точности, так как фотоматериалы имеют достаточно большую фотографическую широту. При цветном фотографировании таблицы использовать не рекомендуется.

Действие оптических экспонометров (рис. 96, б) основано на визуальном замере яркости объекта. Принцип его действия основан на визуальной оценке яркости наиболее темных деталей снимаемого объекта. Экспонометр наводят на объект и на шкале 2 (рис. 96, б) из ряда различных по яркости цифр выбирают наиболее слабую (стекло с выгравированными цифрами имеет с обратной стороны оптический клин 1, пропускающий разное ко-

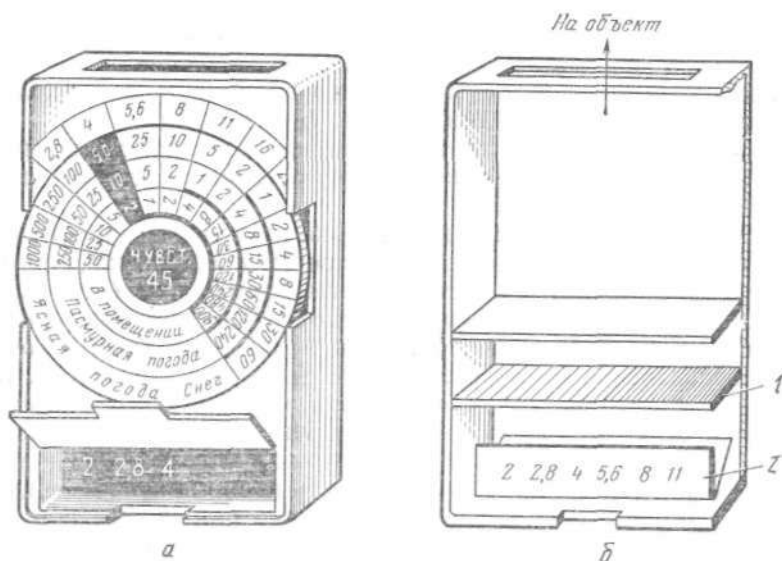


Рис. 96. Оптический экспонометр:
а — общий вид; б — схема

Крайняя различимая цифра на шкале внизу — 4. Поворачивая круглый калькулятор, совмещают сектор, выделенный черным цветом, с цифрой 4 на верхней шкале. Из этого сектора снимают отсчет: при диафрагме 4 на пленке чувствительностью 45 ед. ГОСТ (экспонометр отградуирован под это число) при ясной погоде требуется время экспонирования $\frac{1}{50}$, при пасмурной — $\frac{1}{10}$ и в помещении 2 с. Все другие комбинации диафрагмы, светочувствительность и время экспонирования находятся соответствующим отсчетом на соседних с черным секторами.

личество света). Эта цифра принимается за критерий, с помощью которого по калькулятору прибора определяют экспозицию.

Точность показаний оптических экспонометров, как и таблиц, также недостаточна, так как в измерениях участвует глаз, обладающий небольшим постоянством свойств. Поэтому определение экспозиции с помощью таблиц и оптических экспонометров относится к субъективным методам.

Более точным является метод определения экспозиции с применением *фотоэлектрических экспонометров*. Основные световые измерения в фотоэкспонометре производятся фотоэлементом, соединенным с гальванометром.

Полуавтоматические экспонометрические устройства с фотоэлементом и фоторезистором состоят из следующих устройств (рис. 97, а, б): элемента 1, фоторезистора 2, гальванометра 3, добавочного сопротивления 4, ограничителя поля зрения 5 (ячеистой линзы и решетки), источника питания 6, ограничителя поля зрения 7 (линзы).

Фотоэлектрический экспонометр имеет специальное приспособление — калькулятор, с помощью которого по известной

светочувствительности фотоматериала на основании фотометрического измерения определяют время экспонирования и относительное отверстие объектива. Экспозицию при этом можно определять на основании замеров освещенности или яркости объекта съемки.

Освещенность замеряют с помощью специальной матовой (молочной) стеклянной насадки, вставляемой перед фотоэлементом в шахту экспонометра. Это обеспечивает увеличение угла охвата прибора до 180° по вертикали и горизонтали.

Яркость объекта съемки замеряют без насадки, так как требуется ограничить угол охвата прибора. Угол охвата экспонометра при измерении яркости составляет по горизонтали 60° , по вертикали — 40° . Угол охвата в некоторых экспонометрах можно изменять путем перемещения фотоэлемента по глубине шахты. Экспонометры обычно имеют линзовый растр, решетчатую бленду или плосковыпуклую линзу, ограничивающие угол его охвата.

Определяют экспозицию с помощью фотоэкспонометра следующим образом. На калькуляторе прибора устанавливают светочувствительность используемого фотоматериала; затем измеряют соответствующую световую величину, освещенность или яркость объекта съемки. Стрелка (или деление на диске) калькулятора совмещается со значением измеренной световой величины на шкале экспонометра. Из совместившихся на дисках калькулятора пар значений времени экспонирования и чисел диафрагмы выбирают любую величину: время экспонирования для заданного числа диафрагмы или наоборот. Здесь же возможен отсчет и экспозиционного числа.

Наибольшее распространение получили методы определения времени экспонирования по результатам следующих измерений: освещенности объекта съемки, общей (интегральной) яркости объекта, яркостей отдельных участков объекта съемки.

В последних моделях фотоаппаратов применяют электронные экспонометрические устройства ЭУ с фоторезисторами (рис. 98), фотодиодами, фотоэлементами. Эти приборы имеют небольшую площадь и большую светочувствительность по сравнению только с фотоэлементами. При расположении

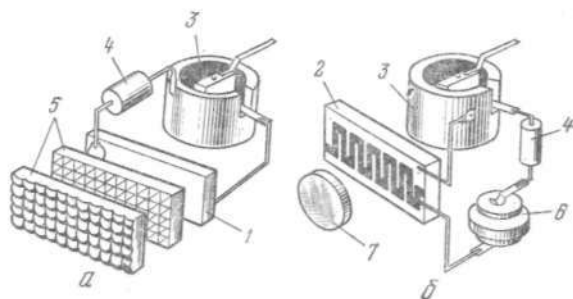


Рис. 97. Неавтоматические экспонометры:
а — с селеновым фотоэлементом; б — с фоторезистором

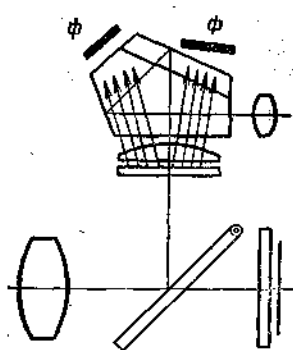


Рис. 98. Положение фоторезисторов, освещаемых от пентапризмы

фоторезистора за объективом обеспечивается наиболее точная установка экспозиции в широком диапазоне (до $1:10\,000$ и более). Экспонетрические устройства, у которых приемник света расположен за объективом фотоаппарата, принято относить к системе TTL.

Светонизмерительную систему TTL вводят для определения величины экспозиции, применяя значения выбранного фотоматериала диафрагменного числа и выдержки, с помощью экспонетрического устройства, расположенного за объективом фотоаппарата. Характеристики восприятия экспонетрического устройства и отличие его от восприятия света оптической системы фотоаппарата оказывают влияние на определяемую экспозицию и на фотоизображение. Система TTL позволяет измерить среднюю яркость сюжетно-важной части фотографируемого объекта.

Определение экспозиции по измерению освещенности объекта съемки является наиболее точным и может применяться как в черно-белой, так и в цветной фотографии.

Освещенность объекта при естественном освещении можно измерять из двух разных положений: непосредственно у объекта съемки и около фотоаппарата. При этом на шахту экспонометра надевают матовую стеклянную насадку, которая закрывает фотоэлемент; экспонометр поворачивают в сторону источника света, освещающего фотографируемый объект.

В связи с ограниченной фотографической широтой съемочного фотоматериала нормальные экспозиции обычно могут быть даны лишь сравнительно небольшому участку широты объекта. Черно-белые фотоматериалы могут правильно воспроизвести детали объектов, освещенность которых отличается от освещенности основного объекта (например, лица человека) примерно в 4 раза, что соответствует двум делениям шкалы экспонометров типа «Ленинград» или «Свердловск». При цветном фотографировании правильно передаются освещенности, отличающиеся примерно в 2,5 раза, что соответствует $\pm 1-1,5$ делениям шкалы тех же экспонометров.

При съемке в условиях освещения источниками искусственного света определяют максимальную освещенность сюжетно важного объекта съемки. При этом измеряют свет от основного осветительного прибора (фотоэкспонометр непосредственно от объекта съемки направляют матовой поверхностью на основной источник света). Экспонетрическое определение освещенности позволяет получить на негативе нормальную среднюю плотность $0,85-1$ при коэффициенте отражения света поверхностью объекта съемки, равном $0,3$.

Экспозицию по измерению общей (интегральной) яркости объекта съемки определяют без матового стекла на шахте

фотоэкспонетра. При измерении интегральной яркости фотоэкспонетр от фотоаппарата направляют на объект съемки. При этом получают общую (средневзвешенную) яркость всех деталей, попавших в поле зрения прибора. При данном методе учитываются яркости не только основного объекта съемки, но и окружающих предметов. Это приводит к известным ошибкам в определении экспозиции. Так, при определении яркостей объекта на черном и белом фоне получаются разные результаты, хотя яркость этого объекта будет одинакова.

Из сказанного следует, что при определении экспозиции по измерению общей (интегральной) яркости объекта могут быть допущены определенные ошибки, поэтому метод можно рекомендовать только при черно-белой съемке.

При определении экспозиции *по измерению яркостей отдельных участков объекта съемки* фотоэкспонетр подносят непосредственно к объекту съемки на расстояние, равное приблизительно диаметру измеряемого участка. Прибор ставят так, чтобы свет от основного источника, отражаясь от поверхности, попадал на его световоспринимающий слой. При этом обычно измеряют яркость наиболее темного и наиболее светлого участков, а затем находят среднюю величину и по ней определяют среднюю экспозицию.

Этот метод определения экспозиции находит широкое применение при черно-белых съемках. Вместе с тем необходимо отметить, что при съемке яркоокрашенных объектов он непригоден, так как сказываются большие ошибки в измерениях, вызванные неодинаковой спектральной чувствительностью фотоэлемента и используемого фотоматериала. При цветной портретной съемке этот способ определения экспозиции может применяться, так как лицо не имеет высокой яркости окраски.

При работе с электронно-импульсными осветителями величина экспозиции определяется длительностью вспышки и колеблется от $1/2000$ до $1/500$ с. Время экспонирования затвора фотоаппарата обычно не менее $1/30$ с, величину экспозиции регулируют, изменяя число диафрагмы и расстояние от импульсного осветителя до объекта съемки. Их расчет (расстояния и числа диафрагмы) производится по ведущему числу осветителя, указываемому в его паспорте. Ведущее число предполагает использование фотоматериала светочувствительностью 130.

При съемке на фотослой действует определенное количество световой энергии, носящее название экспозиции. Величина экспозиции зависит от продолжительности экспонирования и величины диафрагмы. При этом одной и той же экспозиции могут соответствовать несколько различных сочетаний времени экспонирования и диафрагм. Если требуется произвести съемку с большой глубиной резкости, то объектив сильно диафрагмируют, а время экспонирования при этом соответственно увеличивают. При съемке движущихся объектов, наоборот,

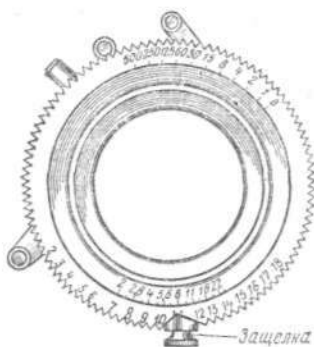


Рис. 99. Экспозиционная шкала

и экспозиционная шкала (самая нижняя). Все три шкалы, а также установочные кольца диафрагмы и затвора связаны защелкой. При повороте кольца и изменении (например, увеличении) продолжительности экспонирования автоматически на соответствующую величину изменится (уменьшится) и диафрагма, и наоборот.

Таким образом, экспозиционная шкала дает возможность получать стабильные по плотности негативы при различных диафрагмах и продолжительности экспонирования. В случае необходимости, отпустив защелку и разъединив приводы диафрагмы и времени экспонирования, их можно устанавливать независимо друг от друга. Экспозиционная шкала имеется у фотоаппаратов «Юность», «Смена-8» и др.

§ 5. ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЪЕМКИ

Репродукционная съемка. Репродукционным называется съемка плоских объектов: чертежей, картин, печатного текста, рисунков и т. п. В результате съемки получают отпечаток (копию) — репродукцию. Репродукционная съемка осуществляется с помощью специальных репродукционных фотоаппаратов (горизонтальных и вертикальных). Схемы основных типов фотоаппаратов приведены на рис. 100, а—г, основными элементами которых являются: штатив 1, оригиналодержатель 2, объектив 3, стойка 4 объектива, коробка 5 матового стекла.

Для репродукционных работ применяются также специальные двухкомнатные фотоаппараты с неподвижной коробкой матового стекла. Кассетную часть такого фотоаппарата располагают в темной комнате. В светлой комнате находятся передвигающиеся по горизонтальным направляющим экран-оригиналодержатель и стойка с объективом. Здесь же устанавливают осветительные приборы. Управление перемещением оригиналодержателя и объективной стойки при установке масштаба изо-

время экспонирования уменьшают, а отверстие диафрагмы увеличивают. При этом существует строгая взаимная зависимость продолжительности экспонирования и диафрагмы, что легло в основу специального устройства, так называемой экспозиционной шкалы или шкалы световых значений.

Эта шкала обеспечивает механическую связь рычагов установки диафрагмы и продолжительности экспонирования (рис. 99). В верхней части кольца имеется шкала регулятора затвора, а внизу — шкала диафрагмы

бражения и наводке на резкость осуществляется из темной комнаты и контролируется по матовому стеклу. По окончании этих операций матовое стекло снимают и на его место ставят фотопластинку или кассету с фотопленкой. При репродукционных работах, как правило, требуется получить копию с передачей мелких деталей оригинала. В связи с этим для репродуцирования применяют объективы высокого качества с практически устраненными оптическими недостатками.

Для изготовления клише в полиграфии репродуцирование производят через специальную оборачивающую призму или

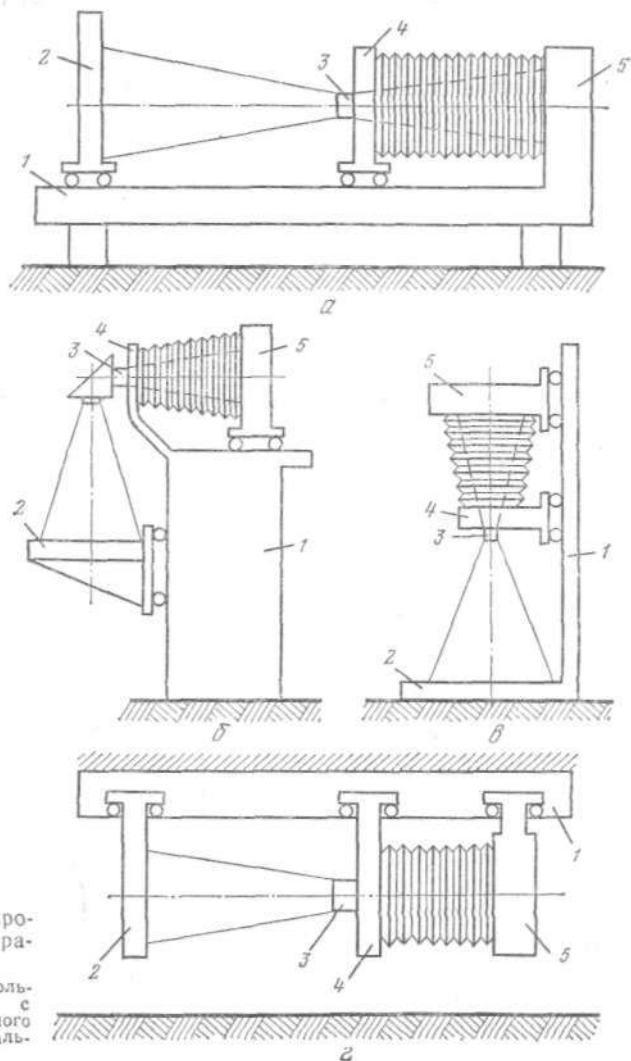


Рис. 100. Схемы репродукционных фотоаппаратов:

а — горизонтального напольного; б — вертикального с призмой; в — вертикального без призмы; г — горизонтального подвесного

зеркало. При этом получают негатив с прямым изображением, а клише — с обратным. При дальнейшей печати оттисков с этого клише изображение на них получается прямое.

При точном репродуцировании для получения копии, соответствующей геометрически оригиналу, требуется обеспечить строгую взаимную параллельность оригинала и матового стекла съемочного фотоаппарата. При этом оптическая ось объектива будет перпендикулярна этим двум плоскостям. Чем меньше размер деталей в оригинале, тем большим должен быть масштаб при репродуцировании, так как на мелком изображении передача мелких деталей ухудшается, что связано с разрешающей способностью оптики и фотоматериала. При вертикальном репродуцировании параллельность матового стекла и оригиналов проверяют с помощью уровня, отвеса или зеркала, которое кладут в центре экрана (оригинала). Изображение объектива, отраженного от зеркала, должно проецироваться в центре матового стекла. При заданном масштабе репродуцирования расстояние от объектива до оригинала определяют по формуле

$$a = f(1 + m),$$

где f — фокусное расстояние объектива; m — коэффициент линейного уменьшения.

При репродукционной съемке оригинал должен быть освещен равномерно. Равномерность освещения зависит от количества осветительных приборов, размеров оригинала, угла падения светового потока на оригинал и расстояния от источников света до оригинала.

Оригиналы с глянцевой поверхностью нередко дают блики от осветителей. Для устранения этого недостатка необходимо следить за тем, чтобы угол падения света от осветительных приборов на оригинале не превышал 25—30°. Если уменьшить этот угол, то увеличится неравномерность освещения оригинала из-за образования глубоких теней на его поверхности. Оригинал выравнивают, плотно прижимая его зеркальным стеклом к экрану, а также используют вакуумные устройства. Репродукционная установка должна иметь матовое стекло с мелкой структурой. Кроме того, в репродукционных фотоаппаратах делают разметку матового стекла в виде нескольких прямоугольников, вписанных друг в друга. Максимальная резкость изображения обеспечивается очень точной наводкой с последующим диафрагмированием объектива. При этом обеспечивается передача мелких деталей оригинала. Точность наводки на резкость контролируют с помощью лупы. Следует иметь в виду, что при съемке в натуральную величину и с увеличением освещенность фотослоя уменьшается в 4 раза и более. В этом случае время экспонирования необходимо точно рассчитывать.

Подбирая светофильтр для каждого случая репродукционной съемки, учитывают, что светофильтр высветляет и притемняет одинаковые с ним цвета. Например, чтобы получить на изображении четкими голубые линии оригинала, применяют темный желтый светофильтр. При использовании светофильтров необходимо подбирать соответствующий им по сенсibilизации фотоматериал. Например, с желтым светофильтром нельзя применять несенсибилизированные, т. е. нечувствительные к желтому свету фотоматериалы. Необходимые сведения о выборе светофильтров и фотоматериалов даются в специальных таблицах.

Панорамная съемка. Панорамные снимки могут быть сделаны при съемке специальными панорамными фотоаппаратами или при многократной съемке обычным фотоаппаратом с последующим монтажом серии снимков.

При съемке фотоаппаратом «Горизонт» на стандартной 35-миллиметровой пленке длиной 1,65 м получают 22 панорамных снимка. При съемке панорамными фотоаппаратами объект фотографируют несколько раз, поворачивая фотоаппарат после каждого экспонирования на определенный угол. Снимки с негативов печатают в одном масштабе, затем полученные отпечатки накладывают друг на друга, точно совмещая изображение, прижимают каждую пару соседних отпечатков линейкой и прорезают их насквозь бритвой вдоль перекрывающихся участков. Затем эти отпечатки наклеивают на картон, совмещая изображения.

Для получения высококачественных панорамных снимков необходимо выполнять следующие основные требования:

отпечатки должны иметь одинаковый масштаб и оптическую плотность изображения;

каждый кадр должен перекрываться соседним; при этом перекрытие должно быть небольшим, так как в противном случае это приведет к нежелательному увеличению количества кадров в панораме;

фотоаппарат надо устанавливать на штативе строго горизонтально по уровню;

съемку следует вести с достаточно большого расстояния, чтобы исключить перспективные искажения объекта.

Стереофотография. Существует несколько способов, позволяющих получить специальные снимки, при рассматривании которых создается ощущение объемности (стереоскопичности) изображения. Из них сравнительно широкую известность получили следующие: раздельное наблюдение фотоизображений стереопары в стереоскопе; способы цветных анаглифов; поляризационный способ; растровая стереофотография; голография. Наиболее широкое практическое применение получили первые три способа стереофотографии. Принцип стереофотографии заключается в получении не менее двух фотоизображений одного и того же объекта, сделанных с разных точек, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Расстояние

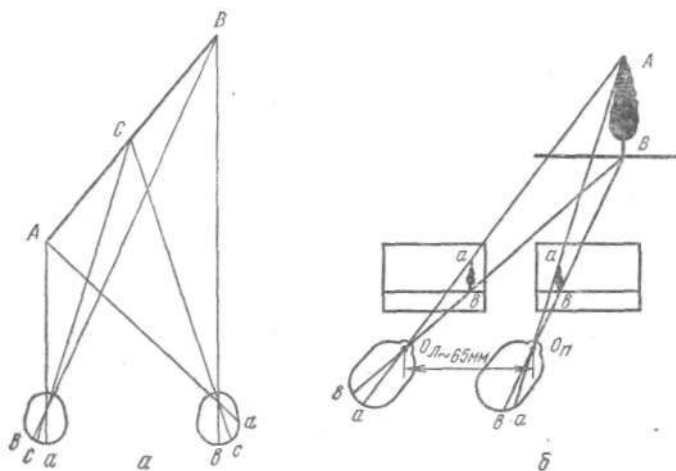


Рис. 101. Схемы стереоскопического зрения

между двумя крайними точками съемки должно быть около 65 мм, т. е. равняться *базису* зрения человека (расстоянию между левым и правым глазом). Стереоскопический эффект неразрывно связан с *бинокулярным* зрением, т. е. рассмотрением снимков двумя глазами (рис. 101, а). При этом каждый глаз должен видеть только предназначенное для него изображение.

В наиболее распространенном способе стереофотосъемки получают два *сопряженных* снимка в положениях, соответствующих положению левого и правого глаза. Эти снимки называются *стереопарой* (рис. 101, б). Для их получения применяют специальные фотоаппараты, называемые стереофотоаппаратами (например, фотоаппарат «Спутник»).

Стереоснимки можно получить не только с помощью специ-

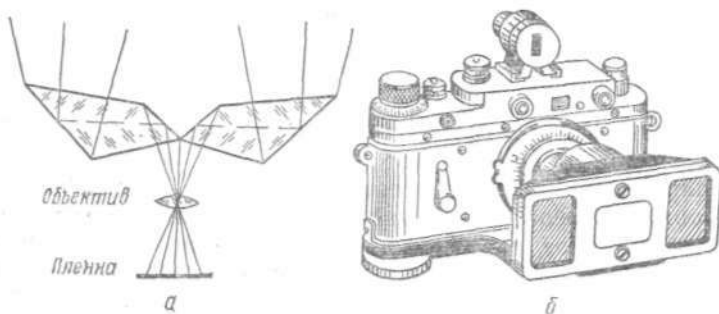


Рис. 102. Схема призматической насадки (а) и общий вид фотоаппарата «Зоркий» с насадкой и видоискателем (б)

альных двухобъективных стереофотоаппаратов, но также и с помощью двух однообъективных фотоаппаратов, расположенных на определенном расстоянии друг от друга; путем поочередной последовательной съемки одним однообъективным фотоаппаратом и получения двух снимков с двух разных положений; с помощью одного однообъективного фотоаппарата со специальной стереонасадкой (рис. 102, а, б).

Готовые снимки при рассматривании располагают таким образом, чтобы левый глаз видел только снимок, полученный с левого положения, а правый — с правого. Такое раздельное наблюдение изображений (полукартин) называется *сепарацией*. При использовании приспособления, показанного на рис. 103 а, снимки могут иметь крупный формат, а при использовании приспособлений, показанных на рис. 103, б и в, размер снимков ограничивается, так как расстояние между их центрами не должно превышать базиса глаз. Приспособление, изображенное на рис. 103, в, называется *стереоскопом*. Оно состоит из стойки с экранами для стереопары на фотобумаге или фотоматериала на прозрачной основе. К стойке прикреплены специальные очки с положительными линзами, которые позволяют рассматривать два фотоизображения раздельно левым и правым глазом с близкого расстояния. Очки можно перемещать вдоль оптической оси, настраивая прибор по глазам.

Способом *цветных анаглифов* и *поляризационным* получают совмещенные изображения, которые рассматривают через очки-светофильтры с окрашенными стеклами или поляризаторами. Этим обеспечивается основное условие стереофотографии, когда каждый глаз видит только одно, предназначенное для него фотоизображение. Существует два способа цветных анаглифов: аддитивный и субтрактивный. В аддитивном способе стереопару получают в виде двух диапозитивов, которые просматривают затем на экране с помощью двух диапроекторов, накладывая изображения одно на другое. На объективы этих проекторов помещают светофильтры двух спектральных зон, например на правый — зеленого цвета, а на левый — красного. На глаза надевают очки с зеленым светофильтром перед правым глазом и с красным — перед левым. Таким образом, каждый глаз будет видеть только свое фотоизображение: правый —

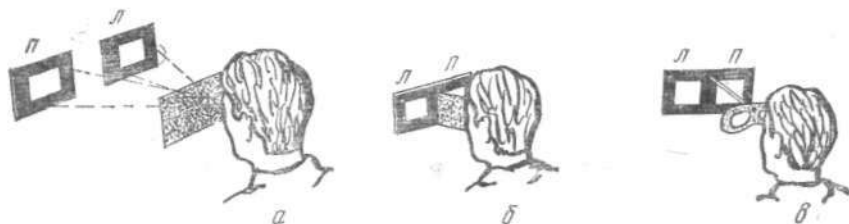


Рис. 103. Способы рассматривания стереопар

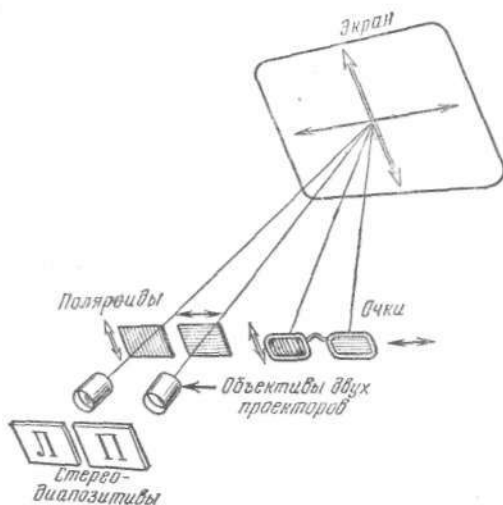


Рис. 104. Схема проекции в поляризованном свете

даваемое правым диапроектором, а левый — левым, т. е. создается ощущение объемности. При субтрактивном способе цветных анаглифов окрашивают не световые потоки, а сами фотоизображения. Фон при этом в отличие от аддитивного способа будет не цветным, а белым. Два диапозитива складывают вместе, вставляют в диапроектор с одним объективом и изображение проецируют на экран. Объемное изображение рассматривают через очки с цветными светофильтрами (зеленым и крас-

ным). Используя эти очки, можно видеть объемное фотоизображение непосредственно на диапозитиве без проектора.

Кроме фотографических способов цветных анаглифов существует способ, заключающийся в вычерчивании на обычной бумаге специальных анаглифических чертежей, рассматриваемых затем через очки со светофильтрами. Этот способ применяется в полиграфии для изготовления книжных объемных иллюстраций. Основной недостаток способов цветных анаглифов заключается в том, что изображение нельзя получить в натуральных цветах. Более совершенным является *поляризационный способ* стереофотографии, дающий возможность получить как черно-белые, так и цветные фотоизображения. При этом способе снимают на черно-белую или цветную пленку стереофотоаппаратом или обычными фотоаппаратами из двух положений. После съемки получают два диапозитива, которые помещают в два диапроектора (рис. 104), дающих на экране совмещенное изображение. Перед объективами проекторов устанавливают поляризаторы (поляризационные светофильтры). Свет у одного из проекторов должен поляризоваться в одной плоскости, а у второго — в другой (например, у левого — в вертикальной, а у правого — в горизонтальной). При рассматривании изображения на глаза надевают очки-поляризаторы, которые также пропускают свет, поляризованный только в определенном направлении: в левый — лучи, поляризованные в вертикальной плоскости, а в правый — в горизонтальной.

ГЛАВА VII

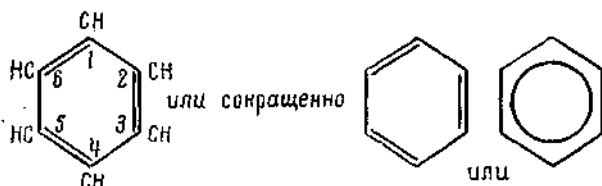
НЕГАТИВНЫЙ ЧЕРНО-БЕЛЫЙ ПРОЦЕСС И ПРОЦЕСС С ОБРАЩЕНИЕМ

Негативным процессом называется процесс получения негатива, т. е. фотонизображения, которое по соотношению оптических плотностей обратно соотношению яркостей объекта съемки. Он включает в себя ряд основных операций: приготовление фотографических растворов, проявление, промежуточная промывка, фиксирование, окончательная промывка, сушка.

Получаемое негативное изображение при необходимости может быть ослаблено или усилено. Некоторые технические дефекты негатива исправляют ретушью. Процессом с обращением называется процесс получения позитива непосредственно на фотоматериале, на который производилась съемка.

§ 1. ВЕЩЕСТВА, ВХОДЯЩИЕ В СОСТАВ ПРОЯВИТЕЛЯ

Проявляющие вещества делятся на две основные группы: неорганические и органические. К неорганическим проявляющим веществам относятся соли закиси железа, например щавелевокислое железо, соли ванадия, гидразина и др. В связи с плохой сохраняемостью, нестабильностью свойств и ядовитостью применение этих проявляющих веществ ограничено. Большинство органических проявляющих веществ является производными бензола C_6H_6 . Эти вещества относятся к ароматическим углеводородам, т. е. к органическим веществам, у которых атомы углерода образуют замкнутое кольцо (ядро, цикл). В вершинах молекул бензола группируются атомы углерода и водорода. Структурная формула бензола имеет вид



Атомы водорода в бензоле могут замещаться атомами других элементов, гидроксильными OH и аминогруппами NH_2 . Для удобства обозначения положений, где произошло замещение атомов водорода, в вершинах структурной формулы бензола условно ставят цифры. Они позволяют отличить друг от друга производные бензола, имеющие одинаковый состав, но отличающиеся строением молекулы, физическими и химическими свойствами (так называемые изомеры). Практическое применение

нашли три группы проявляющих веществ — производных бензола: оксибензолы, аминифенолы и фенилендиамины.

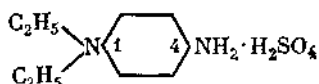
Оксибензолы. В случае замещения в бензоле двух атомов водорода на гидроксильные группы образуется три изомера, носящих общее название диоксибензолы: ортодиоксибензол (пирокатехин)-1,2 — $C_6H_4(OH)_2$; метадоксибензол (резорцин)-1,3 — $C_6H_4(OH)_2$ и парадоксибензол (гидрохинон)-1,4 — $C_6H_4(OH)_2$. Восстановительная способность веществ зависит от положения активных групп. Пирокатехин является более энергичным проявляющим веществом по сравнению с гидрохиноном, а резорцин не обладает проявляющей способностью совсем. Замещение атомов водорода тремя гидроксильными группами OH дает вещество, обладающее проявляющими свойствами, и известное в фотографии под названием пирогаллол (1,2,3-триоксибензол).

Аминифенолы. При замещении в молекуле бензола двух атомов водорода на одну гидроксильную группу OH и одну аминогруппу NH_2 образуется три изомера, носящих общее название аминифенолы. В качестве примера можно привести парааминофенол-1,4 — $C_6H_4(OH)(NH_2)$ — вещество, обладающее проявляющей способностью. В связи с быстрой окисляемостью чистый парааминофенол не нашел применения. Более известны солянокислая и сернокислая соль парааминофенола $n-C_6H_4(OH) \times (NH_2)HCl$ и $2[n-C_6H_4(OH) \cdot (NH_2)] \cdot H_2SO_4$. Проявители с этими веществами используют в виде концентрированных растворов, которые перед обработкой фотоматериалов разбавляют водой. При введении в аминогруппу (NH_2) на место атома водорода метильной группы (CH_3) образуется проявляющее вещество монометилпарааминофенол. Сернокислая соль этого вещества используется в фотографии и называется метолом $2[n-C_6H_4(OH) \times (NH \cdot CH_3)] \cdot H_2SO_4$.

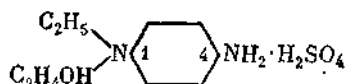
Далее при замене одного атома водорода в метильной группе CH_3 на карбоксильную группу $COOH$ получается еще одно проявляющее вещество — глицин $n-C_6H_4(OH) \cdot (NH \cdot CH_2COOH)$. В случае введения в молекулу парааминофенола второй аминогруппы NH_2 образуется соединение 1,2,4-диаминофенол, известное в фотографии под названием амидол $1,2,4-C_6H_3(OH) \cdot (NH_2)_2$. Это вещество используется в фотографии в виде солянокислой соли. По степени восстанавливающей способности амидол относится к одному из наиболее энергичных проявляющих веществ и может быть использован в проявителе без ускоряющего вещества.

Фенилендиамины. При введении в молекулу бензола двух аминогрупп NH_2 образуется три изомера, называемых фенилендиаминами. При замещении в молекуле парафенилендиамина двух водородных атомов в одной аминогруппе NH_2 на этильные радикалы C_2H_5 образуется вещество — парааминодиэтиламин, используемое в виде сернокислой соли при проявлении

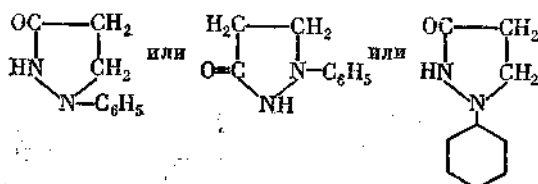
цветных негативных фотоматериалов



При замене в одном из этильных радикалов C_2H_5 этого вещества одного атома водорода на группу OH получается проявляющее вещество парааминоэтилоксиэтиланилинсульфат, используемое в качестве проявляющего вещества при обработке цветных фотобумаг (позитивных фотоматериалов)



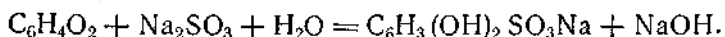
Фенидон. Это проявляющее вещество, имеющее химическое название 1-фенил-3-пирозолидон, относится к гетероциклическим соединениям, содержащим в своем кольце атомы азота, водорода. Фенидон имеет структурную формулу



Проявитель, приготовленный с одним фенидоном, имеет малую проявляющую способность и сильно вуалирует, в него вводят также другое проявляющее вещество — гидрохинон. Такое сочетание (в зависимости от рецепта) дают проявители от выравнивающих до энергичных, контрастно работающих.

Консервирующие (сохраняющие) вещества. Проявляющее вещество в водном растворе быстро окисляется, вследствие чего раствор теряет восстановительную способность и портится. При этом особенно быстро окисляется проявляющее вещество в присутствии щелочи, входящей обыкновенно в состав проявителя. В результате окисления проявляющего вещества образуется хинон, который в свою очередь под действием кислорода переходит в оксихинон. Окончательной стадией окисления является образование сложных молекул гуминовых кислот. Все перечисленные продукты окисления проявляющего вещества не имеют проявляющей способности, загрязняют и проявитель, и фотослой. Чтобы сохранить проявляющее вещество от окисления, в проявитель вводят так называемые консервирующие (сохраняющие) вещества: сернистый натрий (сульфат натрия) Na_2SO_3 , метабисульфит калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, гидросульфит натрия NaHSO_3 , кислый сернистокислый калий KHSO_3 , ацетонсульфит $(\text{CH}_3)_2\text{CONa}_2\text{SO}_3$, гидроксиламинсульфат $\text{NH}_2\text{OH} \cdot 1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ и др. Наибольшее применение нашел сульфит натрия, который

используют в виде безводной (Na_2SO_3) и кристаллической ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) соли. В присутствии сульфита натрия продукт окисления проявляющего вещества хинон, образующийся в первой стадии окисления, переходит в соединение, называемое моносulфогидрохиноном:



Окисление других проявляющих веществ и их взаимодействие с сульфитом натрия происходит по аналогичной схеме. Моносulфогидрохинон обладает проявляющей способностью, однако является менее активным по сравнению с гидрохиноном. Сульфит натрия в проявляющем растворе выполняет следующие функции:

сохраняет проявляющее вещество от окисления;

вступая во взаимодействие с продуктом окисления проявляющего вещества, образует новое соединение, обладающее проявляющими свойствами;

повышает выход металлического серебра на каждую молекулу проявляющего вещества;

способствует мелкозернистому проявлению.

Ускоряющие вещества. В качестве ускоряющих компонентов применяются:

едкие щелочи — едкий натр NaOH и едкое кали KOH ;

углекислые щелочи (применяются наиболее часто в фотографии) — углекислый натрий (сода безводная кальцинированная Na_2CO_3 , сода кристаллическая $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, моногидрат $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$); углекислый калий (поташ) K_2CO_3 ;

тетраборнокислый натрий (бура) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, метаборат натрия (кодалк) NaBO_2 ; иногда применяют трехзамещенный фосфат натрия, аммиак и некоторые другие вещества.

Назначение ускоряющего вещества в проявителе состоит в основном в поддержании определенной щелочности (величины pH) раствора и связанной с этим концентрации активной формы проявляющего вещества. При проявлении образуется бромистоводородная кислота, тормозящая процесс восстановления галогенида серебра. Введение в проявитель щелочи приводит к ее нейтрализации и способствует поддержанию постоянства свойств проявителя.

Противовуалирующие вещества. В процессе проявления фотослоя образуется вуаль, т. е. почернение на участках, на которые свет при экспонировании не подействовал. Для предупреждения образования вуали большой плотности в проявляющий раствор вводят бромистый калий или другие противовуалирующие вещества. Эти вещества адсорбируются (осаждаются) на зернах галогенного серебра в виде отрицательно заряженных ионов и препятствуют приближению к кристаллу иона проявляющего вещества, заряженного также отрицательно. Плотность адсорбированных ионов противовуалирующего веще-

ства значительно меньше на участках кристалла, где подействовал свет и где образовался центр скрытого изображения. В основном только к этим кристаллам могут подойти ионы проявляющего вещества и передать им электроны (рис. 105). В случае введения в проявляющий раствор больших количеств противовуалирующего вещества его действие заметно сказывается и на участках фотослоя, получивших экспозицию. Это свойство используется для проявления передержанных негативов, когда в проявитель вводят повышенные количества противовуалирующего вещества. Тормозящее действие противовуалирующего вещества для различных проявляющих веществ неодинаково и зависит от их активности. Наиболее чувствительны к тормозящему действию в процессе проявления бромистого калия гидрохинон (или глицин), наименее — амидол (или метол).

В качестве противовуалирующих веществ находят также применение органические вещества, относящиеся к гетероциклическим соединениям. Среди них наиболее известны бензотриазол, 1-фенил-меркаптотетразол или 6-нитробензимидазол. Эти вещества могут применяться для устранения фотовуали в тех случаях, когда другие вещества не дают положительных результатов.

§ 2. ПОНЯТИЯ О ВОДОРОДНОМ ПОКАЗАТЕЛЕ

Кислотно-основные свойства фотографических растворов характеризуются величиной водородного показателя pH. Чистая вода химически нейтральна, т. е. не обладает ни кислотными, ни основными свойствами. Она в очень незначительной степени диссоциирует на ионы водорода H^+ и гидроксиды OH^- :



Концентрации этих ионов одинаковы и их произведение, называемое *ионным произведением воды*, равно 10^{-14} :

$$H^+ \cdot OH^- = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}.$$

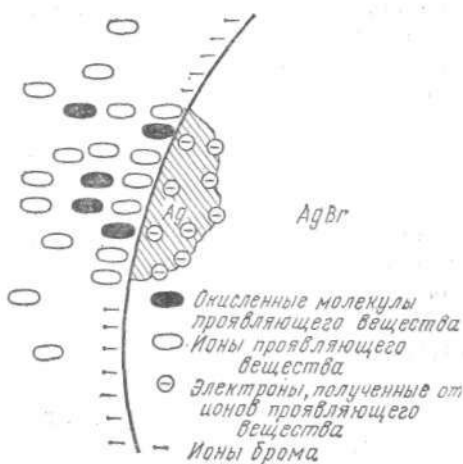


Рис. 105. Действие ионов проявляющего и противовуалирующего вещества в центре проявления

Водородный показатель pH раствора является показателем степени концентрации в нем ионов водорода с обратным знаком. Например, концентрация ионов водорода химически чистой воды равна 10^{-7} , значит в чистой воде, имеющей нейтральные свойства, $\text{pH} = 7$. Растворы различных химических веществ имеют одинаковое произведение ионов водорода и гидроксила, равное 10^{-14} , хотя величины H^+ и OH^- у них будут иными. При увеличении концентрации ионов водорода в растворах кислот уменьшается соответственно концентрация ионов гидроксила. Например, если концентрация ионов водорода увеличилась и стала равной 10^{-4} , то соответственно уменьшится концентрация ионов гидроксила до 10^{-10} ; таким образом, произведение концентраций $\text{H}^+ \cdot \text{OH}^- = 10^{-4} \cdot 10^{-10} = 10^{-14}$; данный раствор имеет кислую реакцию и $\text{pH} = 4$.

При растворении в воде щелочей происходит увеличение концентрации гидроксильных ионов OH^- и снижение концентрации ионов водорода H^+ . Например, если концентрация ионов гидроксила увеличилась до 10^{-5} , то соответственно уменьшилась концентрация ионов водорода до 10^{-9} .

Растворы по кислотно-основным свойствам делятся на три группы: нейтральные — $\text{pH} = 7$; кислые — $\text{pH} < 7$; щелочные — $\text{pH} > 7$. Чем меньше или больше значение pH отличается от 7, тем соответственно кислее или щелочнее раствор. Каждому проявляющему веществу соответствует определенное пороговое значение pH, при котором вещество начинает проявлять. Так для анализа порогового значения pH 4, фенидона — 6, метола — 7, пирогаллола — 8, глицина — 9, гидрохинона — 10.

В растворе проявителя с едкой щелочью pH постоянно меняется при проявлении, что объясняется уменьшением концентрации гидроксильных ионов, нейтрализующих образующуюся бромистоводородную кислоту. Изменение щелочности проявителя в процессе работы является одной из причин уменьшения его активности. Более стабильными в этом отношении являются проявители с углекислой щелочью, часть которой подвергается гидролизу. При нейтрализации в гидролиз вступают новые порции щелочи, и pH в течение определенного времени не изменяется.

Способность проявляющего или какого-либо другого раствора сохранять постоянное значение pH в процессе работы называется *буферной емкостью раствора*.

В фотографии широко используют буферные смеси, представляющие собой смеси слабых кислот или оснований с их солями. Они почти не меняют кислотно-основных свойств при разбавлении, концентрировании, добавлении кислот или щелочей до известного предела. Буферные смеси вводят в состав многих фотографических растворов, благодаря чему при обработке в них фотоматериала величина pH сохраняется на постоянном уровне.

Величину рН раствора можно определить с помощью универсальных тестовых индикаторов, например индикаторной бумаги «Рифан». Более точное определение величины рН достигается потенциометрическим методом при помощи специальных измерительных приборов — потенциометров и рН-метров.

§ 3. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРОЯВЛЕНИЯ. РЕЦЕПТУРА ПРОЯВИТЕЛЕЙ

При проявлении в эмульсионном слое фотоматериала происходит химическое взаимодействие проявляющего вещества с галогенидом серебра. Центры скрытого изображения, образовавшиеся в микрокристаллах при экспонировании и ставшие в проявляющем растворе центром проявления, катализируют реакцию образования металлического серебра. Ионы или молекулы проявляющего вещества передают часть электронов галогениду серебра, что приводит к восстановлению микрокристаллов до металлического серебра и образованию видимого изображения. Восстановление металлического серебра из галогенида серебра эмульсионного слоя называется *химическим проявлением*. Этот метод проявления широко используется в фотографии. При химическом проявлении ионы серебра восстанавливаются до атомов, а проявляющее вещество окисляется. Из этого следует, что процесс проявления является окислительно-восстановительной химической реакцией.

При *физическом проявлении* количество металлического серебра увеличивается за счет соли серебра, входящей в состав проявителя. При этом соль серебра восстанавливается до металла, который осаждается на центрах скрытого изображения. Способ физического проявления тоже нашел практическое применение. Одно из основных требований при проявлении: проявитель не должен вуалировать, т. е. скорость восстановления металлического серебра в микрокристаллах галогенида серебра, подвергшихся действию света, должна быть больше скорости проявления неэкспонированных кристаллов. В этом отношении проявляющие вещества характеризуются степенью избирательного действия или селективностью проявления:

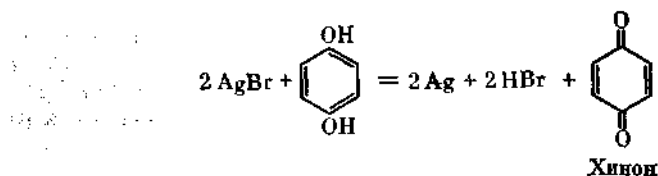
$$U = Kv_i/v_r,$$

где K — условный коэффициент, обычно равный 100; v_i и v_r — скорости проявления соответственно изображения и вуали.

Серебро скрытого изображения имеет меньшее окружение отрицательно заряженных ионов галогенида и меньший отрицательный заряд (см. рис. 105). На этом участке проявляющее вещество получает возможность преодолеть электростатическое отталкивание и вступить в контакт или адсорбироваться на серебре. При этом скрытое изображение является исходным

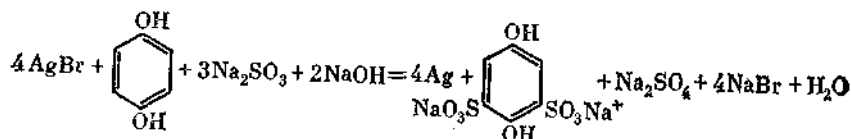
пунктом, от которого процесс восстановления металлического серебра распространяется на весь кристалл. Благодаря скрытому изображению в кристалле процесс его восстановления протекает значительно быстрее, чем восстановление не затронутого светом кристалла. Серебро скрытого изображения является своего рода катализатором, т. е. веществом, ускоряющим процесс. Процесс проявления носит автокаталитический характер, так как количество восстановленного серебра все время увеличивается, что влечет за собой и увеличение скорости проявления. В результате проявления число атомов металлического серебра изображения увеличивается в десятки миллиардов раз по сравнению с их числом в скрытом изображении. Проявляющее вещество, адсорбируясь на серебряном центре микрокристалла, передает ему электроны. Получив избыток электронов, серебряный центр в свою очередь протягивает междуузельные ионы серебра, восстанавливающиеся на нем до атомов серебра. Отношение между серебром, образующимся при проявлении, и расходуемым проявляющим веществом, называется *стехиометрическим*. Оно характеризуется *молекулярным выходом* процесса проявления.

Химическая реакция проявления галогенида серебра гидрохиноном может быть выражена уравнением



В результате химического взаимодействия двух молекул бромистого серебра с одной молекулой гидрохинона образуются два атома металлического серебра, две молекулы бромистоводородной кислоты и молекула хинона — продукта окисления проявляющего вещества.

Проявители содержат в своем составе также сохраняющее вещество и щелочь. В этом случае процесс проявления может быть выражен общим уравнением



В присутствии сульфита натрия каждая молекула проявляющего вещества способна восстановить до четырех атомов серебра, или, иначе говоря, восстановительная способность проявляющего вещества повышается в 2 раза. В присутствии сульфита натрия и щелочи процесс окисления проявляющего веще-

ства протекает в несколько стадий. Продукт окисления гидрохинона — хинон — восстанавливается сульфитом до моносульфогидрохинона — вещества, обладающего проявляющими свойствами. В следующей стадии сульфит натрия с моносульфогидрохиноном образует дисульфогидрохинон — вещество, не обладающее проявляющей способностью. Восстановление галогенида серебра в случае использования гидрохинона и парааминофенола происходит под действием их диссоциированных молекул, а при использовании парафенилендиамина — недиссоциированных молекул.

Восстановление металлического серебра из галогенида серебра состоит в передаче последнему электронов проявляющим веществом. Поэтому восстановительная способность проявляющего раствор характеризуется величиной, называемой *восстановительным потенциалом проявителя* (V , mV). Его величина зависит как от природы проявляющего вещества, так и от состава проявителя. Чем выше эта величина, тем энергичнее раствор. Восстановительный потенциал колеблется от 0,5 В для энергичных высокощелочных до 0,25 В для слабощелочных проявителей.

Содержание каждого вещества в проявляющем растворе строго определенное и зависит от конкретных требований, которые к этому раствору предъявляются. В отношении проявляющего вещества можно сказать, что при увеличении его содержания в проявляющем растворе скорость проявления растет до какого-то предела. Дальнейшее увеличение количества проявляющего вещества сверх определенной нормы, называемой *порогом концентрации проявляющего вещества*, не оказывает влияния на скорость проявления. На основании теоретических расчетов и опытом было доказано, что оптимальное количество проявляющего вещества в проявителе нормального типа должно составлять около 0,05 моль.

Для предупреждения быстрого истощения раствора в процессе работы проявляющие вещества нередко вводят в проявитель в некотором избытке. Широкое распространение получили проявляющие растворы, в состав которых входят не одно, а два проявляющих вещества. К их числу относится большое количество метолгидрохиноновых, фенидонгидрохиноновых и парааминофенолгидрохиноновых проявителей, преимущество которых является более высокая скорость работы, превосходящая сумму скоростей проявления двумя проявляющими веществами смеси, взятыми в отдельности. Эту особенность называют *супераддитивностью*. Она объясняется тем, что одно из проявляющих веществ начинает восстановление металлического серебра первым и создает условия более быстрого проявления второму проявляющему веществу. Существует и другое объяснение супераддитивности, согласно которому первое проявляющее вещество по мере его окисления восстанавливается вторым.

Минимальные количества безводного сульфита натрия, необходимые для сохранения 1 г проявляющего вещества от окисления, можно найти на основании химического уравнения реакции проявления, сравнивая относительные молекулярные массы веществ, участвующих в процессе. Количество сульфита натрия, вводимого в состав проявителя нормального типа, равно около 0,2 моль. Сульфит натрия выполняет не только роль консервирующего вещества, но и способствует мелкозернистому проявлению, являясь слабым растворителем галогенида серебра. Вывести метод расчетного определения точных его количеств при введении в мелкозернистый проявляющий раствор не представляется возможным. Практически используемые мелкозернистые проявители содержат до 125 г безводного сульфита натрия на 1 л раствора.

В проявитель стандартного типа вводят также около 0,2 моль ускоряющего вещества (в пересчете на углекислую щелочь), обеспечивающего получение активной формы проявляющего вещества и нейтрализацию бромистоводородной кислоты, образующейся в процессе проявления фотоматериала. Величина рН проявителей нормального типа, используемых для проявления фотопластинок и фотобумаг, колеблется в пределах 9—11. Углекислая щелочь обеспечивает наибольшую буферную емкость проявителя и лучшую стабильность его свойств. Для получения малой активности проявителя, необходимой для мелкозернистого проявления, в раствор вводят небольшие количества углекислой щелочи или тетраборнокислого натрия (буры).

Количественный состав противовуалирующего вещества, вводимого в проявляющий раствор, зависит от природы проявляющего вещества и от особенностей рецептуры проявителя. В случае использования в качестве противовуалирующего вещества бромистого калия его количество в различных проявляющих растворах колеблется от 0,15 до 6 г/л.

Приведенным расчетным данным соответствует сенситометрический проявитель № 1, который принят государственным стандартом в качестве стандартного проявляющего раствора для фотопластинок и фотобумаг. Рациональный рецепт такого проявителя должен содержать следующие количества основных химических веществ:

Проявляющие вещества, моль	0,05
Углекислая щелочь, моль	0,2—0,3 (20—30 г)
Сульфит натрия безводный, моль	0,2 (20—25 г)
Калий бромистый, моль	0,002—0,04 (0,15—6 г)
Вода, л	До 1

Каждый проявляющий раствор имеет определенные фотографические свойства, предназначается для обработки того или иного вида фотоматериала и характеризуется *избирательным действием* проявителя, а также *скоростью работы* проявителя, который характеризуется временем, необходимым для достижения требуемой контрастности фотоизображения. Это время колеблется в больших пределах и зависит от состава проявляющего раствора и его температуры. Для сверхбыстрого проявления, продолжающегося менее секунды, используют специальные рецепты проявителей и обработку ведут при высокой температуре раствора. Увеличение активности проявителя достигается определенным повышением содержания проявляющих компонентов и применением больших количеств едких щелочей, создающих высокий уровень рН раствора, интенсивностью перемешивания.

Стандартная температура проявления 20°C. С увеличением температуры проявителя скорость проявления возрастает — достигается максимальная оптическая плотность, высокий коэффициент контраста, но при этом увеличивается вуаль. Высокотемпературное проявление проводят при температуре 60—70°C. При температуре проявителя в пределах 17—18°C проявление существенно замедляется, требуется увеличение времени проявления в 1,5—2 раза, при низких температурах (10 и ниже) проявление практически останавливается.

Для предупреждения пузырения и сползания фотослоя с основы в случае обработки при высоких температурах фотоматериал при изготовлении или предварительно дубят, или в состав проявителя вводят вещества, укрепляющие фотослой. В качестве проявляющего компонента в быстрых проявителях используют пирокатехин, амидол, гидрохинон, смесь метола или фенидона и гидрохинона, а также амидола и пирогаллола. Проявление обычно останавливается при погружении фотоматериала в кислую стоп-ванну.

При быстром проявлении создается определенная трудность достижения стабильных результатов. Ошибка во времени проявления ведет к существенному изменению плотностей и контрастности изображения, проработки деталей в тенях и на освещенных участках.

Максимальный коэффициент контрастности при обработке фотоматериала в проявителях зависит от состава раствора. В контрастно работающих проявителях максимальный контраст изображения достигается за более короткое время, чем в мягко работающих, но и в том и в другом растворах при длительном проявлении могут быть получены практически одинаковые результаты. При физическом проявлении и при использовании

специальных парафенилендиаминовых проявителей изображение получается «мягким», и максимальный коэффициент контрастности в них не достигается. Введение в проявитель большого количества противобулирующих веществ ведет к значительному торможению процесса проявления на участках недодержек негатива и в известной мере повышает контраст изображения.

Индукционный период составляет отрезок времени от момента погружения фотослоя в проявляющий раствор до появления в нем первых следов изображения. Величина индукционного периода находится в прямой зависимости от скорости работы проявителя. Часто используемые в практике работ медленно работающие выравнивающие проявители имеют большой индукционный период (продолжительностью от 10 с и более). Величина индукционного периода зависит также от вида используемого проявляющего вещества, степени разбавления проявителя, концентрации противобулирующего вещества в нем, типа фотоматериала и других условий. Величины индукционного периода и полного времени проявления фотоматериала находятся в определенной зависимости. Эта зависимость иногда может быть использована в работе (так называемое факториальное проявление). Полное время проявления определяют путем умножения времени индукции (индукционного периода) на заранее рассчитанный коэффициент (фактор Ваткинса).

Светочувствительность фотоматериала при рекомендуемом значении коэффициента контрастности в определенной степени зависит от состава проявителя, и относительно высокие значения ее могут быть получены не только при использовании специальных высокочувствительных материалов, но и специальным проявлением. При проявлении наиболее эффективное использование образовавшегося в процессе экспонирования скрытого изображения (в том случае, если оно мало) может быть достигнуто следующими способами: введением в проявитель сернокислого гидразина или полиэтиленгликоля, методом выравнивающего проявления и др.

При выравнивающем проявлении удается получить высококачественное негативное изображение. Это достигается применением проявителей, имеющих малую кислотно-основную буферность и сильным разбавлением проявителя, т. е. голодным проявлением*. Выравнивающие проявители имеют обычно малое значение рН. При обработке фотопленок в этих проявителях на участках фотослоя, получивших большие экспозиции, проявление быстро останавливается накапливающимися бромидом и кислотой. В области малых экспозиций образуются несколько большие по сравнению с обычным процессом проявления плот-

* Голодное проявление — выравнивающее проявление, осуществляемое при ограниченном доступе проявителя к фотослою.

ности, за счет чего достигается хорошая проработка деталей в тенях изображения и повышенное значение светочувствительности при нормальном контрасте изображения. Аналогичные результаты получаются и при использовании разбавленных проявителей. Из способов голодного проявления наибольшее практическое применение нашли: двухрастворное проявление, проявление с многократным прерыванием при опускании фотоматериала в воду, способ непродолжительного выдерживания фотоматериала в охлажденном проявителе с последующим прикатыванием к стеклу. Выравнивание контрастов при голодном проявлении также основывается на быстром истощении проявителя и прекращении процесса восстановления серебра на участках изображения, получивших большие экспозиции, в то время как слабоэкспонированные участки продолжают проявляться.

Зернистость фотоизображения в значительной степени зависит от состава проявителя и может быть минимальной при использовании, во-первых, парафенилендиаминовых проявителей, обладающих способностью частично растворять галогенид серебра; во-вторых, проявителей, в которых парафенилендиамин сочетается с другим проявляющим веществом; в третьих, при введении в состав проявителя повышенного количества сульфита натрия или более сильных растворителей галогенида серебра. К числу таких растворителей относится роданистый калий, который вводят в проявитель в небольшом количестве. Получению мелкозернистых изображений способствует проявление негатива до низкого значения коэффициента контрастности. Выравнивающие проявители также относятся к числу мелкозернистых. Введение в проявитель некоторых вспомогательных веществ, например гидразинсульфата, значительно снижает решающую способность получаемых фотонизображений.

Сохраняемость проявителей неодинакова. Плохо сохраняются амидоловые проявители. В них ускоряющее вещество обычно не вводят, так как амидол может проявлять даже в слабокислой среде. К числу хорошо сохраняющихся относятся глициновые проявители. Проявляющие растворы, не содержащие сохраняющих веществ (так называемые бессульфитные проявители), относятся к числу быстроокисляющихся растворов; их используют для одноразового проявления сразу после составления.

Истощаемость проявителя зависит не только от природы используемого проявляющего вещества, но и от количества сульфита натрия в нем, величины рН, типа обрабатываемого фотоматериала. Наибольшим сроком службы и лучшим постоянством свойств обладают энергичные проявители. Малоэнергичные слабощелочные проявляющие растворы малостабильны и очень чувствительны к накапливающемуся в процессе проявления бромиду и снижению рН. Продление срока службы проявителя и повышение стабильности его свойств достигается

введением в него подкрепляющих растворов в процессе обработки фотоматериалов. При изменении температуры на одну и ту же величину скорость работы проявляющих растворов изменяется неодинаково. Это свойство проявителя принято характеризовать температурным коэффициентом, показывающим, во сколько раз изменяется скорость работы раствора при изменении его температуры на 10°C (условно принято, что проявление материала ведется до определенного коэффициента контрастности). Температурный коэффициент широко применяемых проявителей для общесфотографических целей лежит в пределах 1,5—2,5, т. е. при увеличении или уменьшении температуры раствора на 10°C скорость его работы увеличится или уменьшится в 1,5—2,5 раза в зависимости от его состава. Это обстоятельство требует, чтобы температурный режим проявления был выдержан точно. Отклонение температуры в черно-белых процессах не должно превышать $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Требования цветного проявления более жесткие. Здесь допускаются колебания температуры до $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Цвет проявленного изображения зависит от двух условий: состава проявителя и величины проявленных зерен металлического серебра. При использовании пирогалловых и пирокатехиновых проявителей и быстроокисляющихся растворов с малым содержанием сульфита натрия образуется изображение, состоящее из металлического серебра и окрашенных продуктов окисления проявляющего вещества. Применение мелкозернистых фотоматериалов и мелкозернистых проявителей также может стать причиной образования изображения с теплым коричневатым оттенком, что обусловлено микроструктурой проявленного серебряного изображения и связанным с этим избирательным поглощением некоторых цветов.

Составы проявителей для обработки черно-белых негативных фотослоев приведены в табл. 6.

§ 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАБОТКЕ НЕГАТИВНЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

Вода для приготовления фотографических растворов не должна иметь примесей, оказывающих вредное влияние на процесс обработки, фотослой и изображение. Обычно пользуются водопроводной водой. В некоторых случаях она содержит в своем составе соли кальция и магния, образующие на негативе налет, или кальциевую сетку. Такую воду принято называть жесткой. Ее смягчают путем кипячения или введения специальных водоумягчающих веществ, которые переводят плохо растворимые соединения кальция и магния в хорошо растворимые комплексные соли.

Для различных лабораторных, исследовательских и других работ применяют химические вещества, имеющие следующие виды очистки от химических примесей: технические (технич.); марки «Фото» очищенные (очищ.); чистые (ч.), чистые для анализа (ч. д. а.); химически чистые (х. ч.); особой чистоты (о. ч.), встречаются также и другие виды очистки: высокой чистоты (в. ч.); спектральной чистоты (с. ч.). Если рецепт раствора дается для безводного ве-

Т а б л. 6. Составы проявителей для обработки черно-белых негативных фотослоев, г/л

Проявитель	Метол	Гидро- хинон	Фени- дон	Суль- фит без- вод- ный	Сода каль- цини- рован- ная	Бура кри- сталли- ческая	Натр едкий	Калий едкий	Калий бромис- тый кристал- лический	Калий или натрий родани- стый	Спирт мети- ловый	Фенил меркапто- тетразол (СТ-47)	Поли- окс-100
Выравнивающий мелко- зернистый негативный НИКФИ	2	5	—	50	—	20	—	—	—	—	—	—	—
Выравнивающий мелко- зернистый негативный Д-76	3	—	—	15	12	—	—	—	0,4	—	—	—	—
Особомелкозернистый негативный Д-20	5	—	—	100	—	2	—	—	0,5	1	—	—	—
Негативно-позитивный К. В. Чибисова	1	5	—	26	20	—	—	—	1	—	—	—	—
Негативный ВЦ-2, вы- равнивающий контрасты	2	5	—	50	—	20	—	—	—	—	—	—	—
Специального назначения для получения высокого контраста Д-19	2,2	8,8	—	96	48	—	—	—	5	—	—	—	—
Специального назначения для переэкспонирован- ных фотослоев	—	7	—	25	12	—	—	—	5	—	—	—	—
Специального назначения для недоэкспонирован- ных фотослоев Д-82	14	14	—	52,5	—	—	8,8	—	8,8	—	48	—	—
Быстрый (рецепт Еинке)	—	30	—	25	—	—	—	60	—	—	—	—	—
Специального назначе- ния для вуалирования фотослоев СП-47	5	6	—	50	31	—	—	—	2	—	—	0,04	1,5
Негативный выравни- вающий по плотностям	—	0,25	0,05	100	—	2	—	—	0,5	—	—	—	—

щества, то при использовании вместо него кристаллического вещества последнее берут в большем количестве (например, сульфита натрия в 2, соды в 2,7 раза больше).

Для уменьшения времени растворения химических веществ воду для раствора подогревают до температуры 35—40 °С. Для веществ, поглощающих тепло при растворении, воду нагревают примерно до температуры 60 °С (например, для растворения тиосульфата натрия). Вещества, выделяющие при растворении большое количество тепла, растворяются в холодной воде (кислоты, едкие щелочи).

Порядок растворения химических веществ, входящих в состав фотографических растворов, указывается в рецептах (в случае, когда специального указания нет, вещества растворяют в той последовательности, в какой они перечислены). Для приготовления проявителя берут примерно $\frac{2}{3}$ или $\frac{3}{4}$ объема воды, предусмотренного в рецепте.

Концентрация растворов выражается в граммах на литр; в объемных процентах (для жидких веществ); в весовых процентах.

Молярная концентрация показывает, сколько грамм-молекул вещества содержится в 1 л раствора.

Нормальная концентрация показывает, сколько грамм-эквивалентов вещества содержится в 1 л раствора.

Каждое вещество вводят в раствор только после полного растворения предыдущего. Обычно объем воды указывается в конце рецепта. После приготовления раствор охлаждают, а затем доливают водой до требуемого объема и фильтруют. В лабораторной практике часто готовят запасные растворы с повышенной концентрацией входящих веществ. Концентрированный раствор проявителя или фиксажа разбавляют перед работой необходимым количеством воды. Применяют концентрированные (чаще ненасыщенные) растворы, содержащие одно химическое вещество, не окисляющееся в воде (например, сульфит натрия, бромистый калий, тиосульфат натрия и др.). Для получения рабочего раствора берут концентрированный раствор в объеме требуемой рабочей концентрации и разбавляют водой в объеме, равном разности концентраций запасного и рабочего растворов. Например, требуется из 30 %-ного приготовить 10 %-ный. Для этого берут запасной раствор объемами 10 и 20 мл воды ($30 - 10 = 20$). После их смешивания получается раствор требуемой 10 %-ной концентрации объемом 30 мл.

Готовые растворы хранят в наполненных доверху закрытых сосудах из неокисляющихся материалов. Неупотреблявшиеся растворы сохраняют свои свойства лучше, чем употреблявшиеся. Помутнение, изменение цвета или появление осадка в растворе является следствием его порчи. Это происходит при окислении химических веществ, входящих в состав растворов, или при загрязнении одних растворов другими.

Пользоваться истощенными, т.е. отработанными и пришедшими в негодность растворами, нельзя.

Существует два основных метода обработки негативных фотоматериалов: проявление с визуальным контролем и проявление по времени.

При проявлении с визуальным контролем лаборант наблюдает за образованием видимого фотоизображения, если фотоматериал обрабатывают при неактивном освещении. Лаборатории оборудуют осветительными приборами общего и местного освещения (освещения рабочего места). Первые выполняют конструктивно таким образом, чтобы при размещении в верхней части лаборатории они давали освещение отраженным от потолка светом. Приборы второго типа устанавливают в непосредственной близости от рабочего места, на расстоянии не менее 0,5 м. В приборах используют электролампы мощ-

постью 15—25 Вт и защитные светофильтры. Если фотоматериал чувствителен ко всей видимой зоне спектра, то для обеспечения возможности наблюдения за ходом процесса проявления этот фотоматериал иногда подвергают предварительной десенсибилизации. При визуальном наблюдении за ходом процесса проявление заканчивают после того, как след фотоизображения появится со стороны подложки. В некоторых проявочных устройствах устанавливают прозрачные кюветы с нижней подсветкой, позволяющей вести постоянное наблюдение за ходом образования видимого изображения в фотослое. Опускать фотоматериал в проявитель следует так, чтобы поверхность фотослоя сразу была покрыта проявителем и на ней не осталось воздушных пузырьков.

По времени проявляют обычно тогда, когда фотоматериал чувствителен ко всей видимой области спектра и неденсибилизирован, а также когда прибор, в котором проявляют фотопленку, не рассчитан на визуальное наблюдение за процессом. При этом время отсчитывают с помощью сигнальных (звонковых) часов.

Фотоматериалы обрабатывают на специально оборудованном лабораторном столе (рис. 106), имеющем отделения для установки кювет, бачков или баков с растворами и водой. К столу подводится вода для промывки фотоматериалов и слива растворов при их обработке. Рабочее место освещается лабораторными фонарями с защитными светофильтрами.

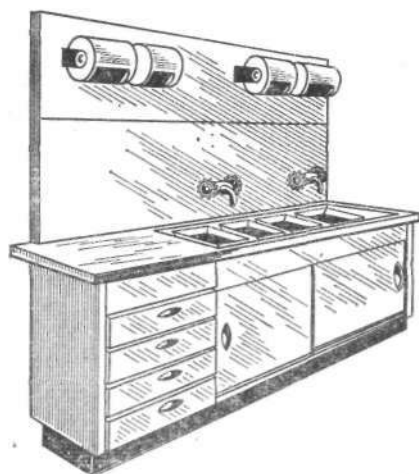


Рис. 106. Лабораторный стол

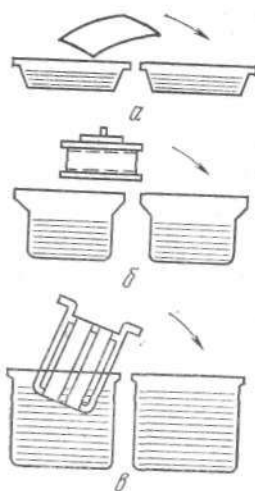


Рис. 107. Проявочные устройства:

а — кюветы; б — бачки со спиралью; в — вертикальные баки

Фотоматериалы обрабатывают в кюветах (кюветное проявление, рис. 107, а), бачках (баковое проявление на спиральных, рис. 107, б) и в вертикальных баках (вертикальное проявление, рис. 107, в). Фотоматериалы также обрабатывают в проявочных машинах.

Кюветы — плоские невысокие ванны, в которые заливают растворы (проявитель, фиксаж, воду для промывки). В кюветах обычно обрабатывают форматные плоские (листовые) фотоматериалы. Толщина слоя раствора над фотослоем погруженного в кювету материала должна быть не менее 2—3 см. В течение всего времени нахождения фотоматериала в растворе кювету слегка покачивают, чтобы раствор перемешивался и проявление фотонизображения по всей поверхности фотослоя было равномерным.

В крупных лабораториях для кюветного проявления применяют специальные лабораторные столы с механическим покачиванием кювет и автоматическим поддержанием заданной температуры проявителя, фиксажа и промывочной воды.

Примером может служить проявочная установка ПРУ-40, рассчитанная на обработку черно-белых фотопленок размером до 40×50 см. Установка имеет систему принудительной циркуляции растворов, обеспечивающую их фильтрацию и терморегулирование. Окончание процесса проявления контролируется по величине оптической плотности получаемого фотонизображения с помощью инфракрасного денситометра РДИ, работающего в неактивном для фотопленки свете и позволяющего в процессе работы проводить необходимые определения. Установка имеет автоматический дозатор, подающий в кювету с проявителем подкрепляющий раствор и обеспечивающий поддержание постоянства его свойств. Управление работой установки осуществляется со специального пульта. Установка оборудована системой световой сигнализации. В нерабочее время растворы сливаются в сосуды, вмонтированные в ее корпус.

При проявлении в *бачках* фотоматериал, представляющий собой рулон фотопленки, заряжают предварительно в специальную спираль и погружают в круглый бачок (рис. 108, а, б). Бачок закрывают крышкой, чтобы предотвратить попадание света внутрь. Спираль с пленкой периодически поворачивают за выступающую ручку, чтобы раствор перемешивался и проявление фотослоя было равномерным. Существуют бачки со специальными вкладышами для зарядки нескольких форматных фотопленок или фотопластинок.

Устройство для проявления негатива (УПН) дает возможность обрабатывать черно-белые рулонные фотопленки шириной 35 и 61,5 мм и длиной до 17 м (рис. 109). Фотопленку перед обработкой заряжают в большую пластмассовую спираль. Отдельные пленки меньшей длины сшивают в один ролик с помощью специальных приспособлений, входящих в комплект устройства.

В процессе работы спираль с фотопленкой вращается, чем обеспечивается равномерная обработка фотослоя. В устройстве можно обрабатывать отдельные куски фотопленки шириной 61,5 мм и длиной 0,8 м на шести малых спиральных от индивидуальных бачков. После зарядки фотопленкой эти спирали устанавливают на специальный диск. Большая спираль или малые спирали на диске переносятся из бака в бак вручную. Устройство имеет пять баков: для проявителя, промежуточной промывки, фиксажа, промывки в непроточной воде для сбора солей серебра и окончательной промывки. Время проявления контролируется по часам, температура проявителя — по выносному термометру, вмонтированному в бак. Для поддержания температуры на заданном уровне в специальное пространство вокруг баков с проявителем и фиксажем заливают термостатирующую воду.

Для вертикального проявления предназначены специальные *высокие баки*. Фотопленку наматывают на раму или подвешивают за один конец к специальной планке-перемычке. Чтобы фотопленка не свертывалась, к нижнему концу ее прикрепляют груз. Рамы с фотопленкой или свисающие с перемычки фотопленки погружают в бак с обрабатываемым раствором. Бак состоит из секции для загрузки обрабатываемого фотоматериала и секции перекачивания раствора. Циркуляция раствора осуществляется электродвигателем с лопастным насосом 1 (рис. 110). Из секции перекачивания раствор попадает через очистительный фильтр 2 в верхнюю часть загрузочной секции 3.

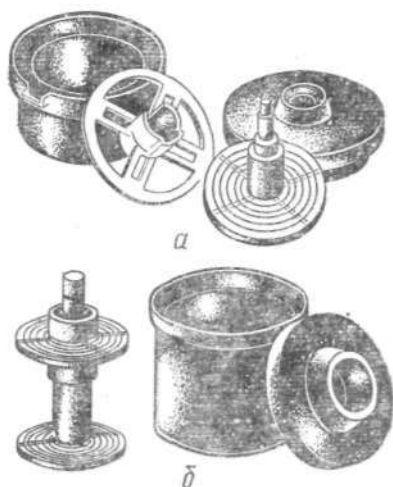


Рис. 108. Проявочные баки со спиралью:

а — односпиральный для 35-миллиметровой фотопленки; *б* — двухспиральный для пленки «Рольфильм»



Рис. 109. Установка УПН

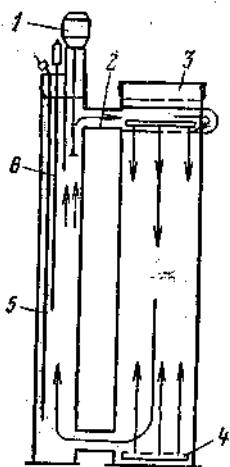


Рис. 110. Схема бака для вертикального проявления

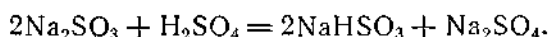
Баки имеют специальные дозирующие устройства (дозаторы), которые обеспечивают подачу расчетного количества свежих регенерирующих растворов, предупреждающих истощение и изменение свойств рабочих растворов в процессе работы. Перемешивание растворов и равномерная обработка фотопленок обеспечиваются периодическим вдуванием азота в бак с проявителем или воздуха в остальные баки 4. Заданная температура поддерживается автоматически с помощью реле и контактных термометров и благодаря подаче холодной воды через змеевик 5 или с помощью нагревательного элемента 6. В крупных лабораториях устанавливают специальное механизированное оборудование. Продолжительность проявления зависит от предписания технологического регламента и коэффициента контрастности, который необходимо получить при обработке фотослоя.

При использовании энергичных проявителей возникает необходимость быстро остановить проявление, так как этот процесс может некоторое время продолжаться при промывке и вызвать перепроявление негатива. Для этой цели применяют кислые останавливающие растворы, представляющие собой 3—5 %-ные растворы уксусной кислоты, 7 %-ные бисульфита натрия или 4 %-ные метабисульфита калия. Останавливающий раствор применяют также перед фиксированием негатива в нейтральном фиксаже. Фотопленку или фотопластинку после проявления опускают на несколько секунд в останавливающий раствор, затем ополаскивают в проточной воде и переносят в фиксаж.

При использовании нейтрального фиксажа, содержащего только тиосульфат натрия, в фотослое нередко образуется дихроичная вуаль (двухцветная вуаль, имеющая при рассмотрении негатива на просвет желтую окраску, а на поверхности фотослоя и со стороны подложки — красноватые и зеленоватые оттенки). Кислый останавливающий раствор предупреждает появление этого дефекта.

Для фиксирования фотоматериалов чаще используют кислые фиксирующие растворы, позволяющие обойтись без обработки фотоматериала в останавливающем растворе. В состав кислого фиксажа входит тиосульфат натрия и подкисляющее вещество, снижающее pH раствора примерно до 4. В качестве подкисляющего вещества применяют кислые соли — бисульфит натрия NaHSO_3 или метабисульфит калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$, а также слабые кислоты — борную H_2BO_3 , лимонную $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ или винную $\text{C}_2\text{H}_2(\text{OH})_2(\text{COOH})_2$. Для приготовления кислых фиксажей мо-

гут использоваться и сильные кислоты. В связи с тем что при высокой кислотности фиксажа из него может выделяться сера, т. е. произойти сульфуризация, предварительно составляют отдельный раствор кислоты, который вводят в раствор сульфита натрия. В результате химической реакции в растворе образуется кислая соль:



Полученный раствор кислой соли вводят в раствор тиосульфата натрия.

При повышенной температуре для предупреждения плавления фотослоя применяют дубящие фиксажи, в состав которых входят вещества, повышающие механическую прочность фотослоя (табл. 7). К числу таких веществ относятся формалин CH_2O , хромовокалиевые квасцы $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, алюмокалиевые квасцы $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и другие вещества.

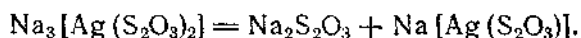
Табл. 7. Дубящие фиксажи

Реактив	Фиксаж			
	нейтральный	кислый	кислый дубящий	быстрый
Тиосульфат натрия кристаллический, г	250	250	200	200
Сульфит натрия безводный, г	—	20	20	—
Кислота уксусная ледяная, мл	—	—	15	—
Кислота серная (10 % -ная), мл	—	12	—	—
Квасцы алюмокалиевые, г	—	—	10	—
Аммоний хлористый, г	—	—	—	50
Вода, л, не более	1	1	1	1

Продолжительность фиксирования фотопленок и фотопластинок не более 10 мин.

После фиксирования проводят окончательную промывку, являющуюся одной из важных стадий фотопроцесса. При этом отфиксированный фотоматериал сначала промывают несколько минут в баке с непроточной водой, в котором собираются остатки фиксирующего раствора с растворимыми соединениями серебра. Вода из бака после промывки определенного количества фотоматериалов поступает в машины, где происходит осаждение серебра. После промывки в баке с непроточной водой фотоматериал переносят в другой бак с проточной водой. При промывке фотоматериала происходит диффузия тиосульфата натрия и комплексных солей серебра и натрия серноватистой

кислоты из фотослоя в воду. Этот процесс протекает тем быстрее, чем энергичнее происходит смена воды у поверхности промываемого фотоматериала, т. е. чем больше разница концентрации вымываемого вещества в фотослое и омывающей его воде. Из этого следует, что наибольшая скорость промывки достигается в устройствах, обеспечивающих постоянный приток свежей воды. Тиосульфат натрия удаляется из фотослоя при промывке быстрее, чем комплексные соли серебра и натрия серноватистой кислоты, постепенно распадающиеся на плохо растворимые и нерастворимые соединения:



Оставшиеся в фотослое при недостаточной промывке соединения серебра и натрия серноватистой кислоты постепенно разлагаются и образуют с металлическим серебром фотоизображения сернистое серебро, постепенно портящее фотоизображение. Поэтому необходимо полностью удалить из фотослоя комплексные соединения серебра и натрия в процессе фиксирования, что может быть достигнуто при использовании свежего фиксирующего раствора.

Процесс промывки ускоряется и улучшается, если предварительно фотоматериал обработать в 0,3 %-ном растворе углекислого натрия (сода) или аммиака. Применяют 2 %-ный раствор поваренной соли, сернокислого натрия или сульфита натрия. Фотоматериал обрабатывают в течение 2 мин, а затем 5 мин промывают (окончательная промывка) в проточной воде при температуре 12—18°C. При более низкой температуре воды время промывки увеличивают, а при более высокой температуре происходит заметное набухание и размягчение фотослоя, что вызывает уменьшение его прочности и требует увеличения продолжительности сушки.

Для экономии промывки воды и сокращения времени промывки применяют разрушители тиосульфата натрия, т. е. вещества, превращающие его в соединения, инертные по отношению к серебру фотоизображения. Одним из наиболее эффективных разрушителей тиосульфата натрия является раствор перекиси водорода и аммиака:

Перекись водорода (3 %-ный раствор), мл	125
Аммиак (3 %-ный раствор), мл	100
Вода, л	До 1

Для определения полноты промывки фотослоя пользуются раствором следующего состава:

Марганцовокислый калий, г	1
Поташ (или сода), г	1
Вода дистиллированная, л	До 1

Частоту промывки проверяют следующим образом: в стакан или пробирку наливают небольшое количество раствора и, вынув из воды промываемый фотоматериал (например, лист форматной фотопленки), дают стечь с него нескольким каплям испытуемой промывной воды. Изменение фиолетовой окраски раствора на желтую или оранжевую указывает на наличие в воде тиосульфата натрия и на необходимость продолжения промывки фотоматериала. После окончательной промывки фотоматериал сушат. Скорость сушки зависит от влажности и температуры воздуха и от скорости его движения у поверхности фотослоя. Влажность воздуха характеризуется относительной влажностью (%), т. е. отношением количества водяного пара, содержащегося в воздухе в данный момент, к предельно возможному насыщению его при такой же температуре. Относительную влажность воздуха определяют с помощью специальных приборов — психрометров.

Для ускорения сушки негативных фотоматериалов используют *сушильные шкафы* (рис. 111), дающие принудительный приток подогретого и очищенного от пыли воздуха. Температура воздуха регулируется терморегулятором. Каждую фотопленку подвешивают за один конец с помощью зажима, изготовленного из некоррозирующего материала. Чтобы фотопленка не скручивалась, на противоположный конец ее подвешивают другой зажим.

Для ускорения сушки фотоматериал после промывки обрабатывают в растворах веществ, энергично поглощающих воду. В этих целях используют 70%-ный раствор винного спирта (чистого или денатурированного) или насыщенный раствор поташа. Перед сушкой с негатива удаляют оставшиеся после промывки капли воды с помощью специальных щипцов с губкой или куска чистой влажной губки. Для того чтобы сушка фотослоя была равномерной и быстрой, негатив обрабатывают в слабом растворе поверхностно-активного вещества ОП-7 или ОП-10, которое предотвращает образование на поверхности негатива капель. Негатив перед сушкой опускают на непродолжительное время в 0,05—0,1 %-ный раствор одного из этих веществ и затем сушат. Фотопленки, у которых основа склонна к пересушиванию и скручиванию, обрабатывают перед сушкой в растворе пластификатора следующего состава:

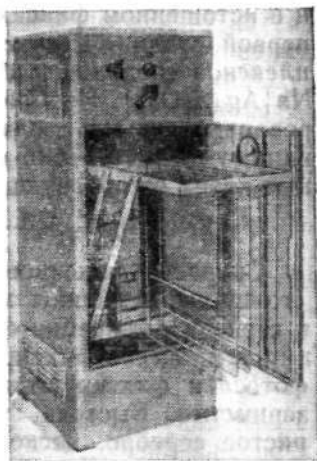


Рис. 111. Сушильный шкаф

Поверхностно-активное вещество ОП-7 (10 %-ный раствор), мл	12
Глицерин, мл	2
Вода, л	0,5

§ 6. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ФИКСИРОВАНИЯ. ПРОЯВЛЯЮЩЕ-ФИКСИРУЮЩИЕ РАСТВОРЫ

В фотослое после проявления остается около 75 % невосстановленных галогенидов серебра, которые могут восстанавливаться на свету и портить фотоизображение. Галогенид серебра создает мутность фотослоя негатива и мешает процессу печати с него. Для удаления остатков галогенидов серебра из эмульсионного слоя фотоматериала подвергают специальной дополнительной обработке — фиксированию. Сущность фиксирования состоит в превращении галогенидов серебра в хорошо растворимые в воде соединения. Процесс фиксирования выражен двумя стадиями. Сначала происходит образование малорастворимых комплексных серебрянотиосульфатных соединений:



Затем образуются хорошо растворимые комплексные серебрянотиосульфатные соединения:



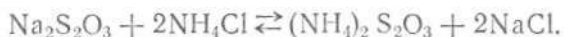
В растворе с избытком тиосульфата натрия образуются и другие, более сложные и хорошо растворимые комплексные соединения серебра. Эти соединения вымываются из фотослоя в процессе фиксирования и частично в процессе окончательной промывки. При невысокой концентрации тиосульфата натрия и в истощенном фиксаже процесс фиксирования не идет дальше первой стадии. При этом образуется плохо растворимое комплексное соединение серебра и натрия серноватистой кислоты $\text{Na}[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]$. Изображение по виду может казаться отфиксированным, но эти соединения под действием влаги отрицательно влияют на него — оно постепенно желтеет, появляются коричневые пятна от образующегося сернистого серебра:



Скорость фиксирования зависит от особенностей фотослоя (толщины, величины микрокристаллов), концентрации, состава и степени истощения фиксажа, его температуры и перемешивания в процессе фиксирования. Тонкослойные и мелкозернистые фотослои фиксируются быстрее, чем толстослойные и крупнозернистые. Быстрее фиксируются фотослои, содержащие хлористое серебро, несколько медленнее — фотослой, содержащие бромистое серебро, и очень медленно — фотослой, содержащие йодистое серебро. Максимально возможная скорость фиксиро-

вания достигается при 40%-ной концентрации тиосульфата натрия. При дальнейшем увеличении концентрации происходит уменьшение скорости фиксирования, что связано с уменьшением набухаемости фотослоя и замедлением процесса диффузии, т. е. проникания в него тиосульфата натрия. В фиксаже постепенно накапливаются продукты химических реакций. При накоплении соединений серебра фиксаж становится непригодным к работе даже при достаточной концентрации тиосульфата натрия. В связи с этим более целесообразно использовать растворы фиксажа, содержащие не более 25 % тиосульфата натрия.

Большая скорость фиксирования достигается при использовании вместо тиосульфата натрия тиосульфата аммония. При этом осветление фотослоя наступает примерно в 2 раза быстрее, чем при фиксировании в 40%-ном растворе тиосульфата натрия. Такая скорость наблюдается при использовании 15%-ного раствора тиосульфата аммония. Растворы с тиосульфатом аммония называются быстрыми фиксажами. Их получают при введении в раствор тиосульфата натрия хлористого аммония NH_4Cl . В результате химической реакции образуется тиосульфат аммония:



Наибольшая скорость работы достигается при введении хлористого аммония в 15%-ный раствор тиосульфата натрия (1/4 его массы).

Высокая скорость растворения галогенида серебра в фиксаже, содержащем хлористый аммоний, наблюдается только при обработке бромосеребряных и иодосеребряных эмульсий. Время осветления хлоросеребряных эмульсий в таком фиксаже удлиняется, что объясняется наличием в нем избыточного количества хлоридов. Изменение температуры мало влияет на скорость работы фиксажа при средних концентрациях фиксирующего вещества и значительно влияет на нее при малых и больших концентрациях тиосульфата натрия. Скорость фиксирования увеличивается при перемешивании раствора, что связано с ускорением обмена фиксажа у поверхности фотослоя и улучшением диффузии солей серебра из него.

Известны растворы, обеспечивающие одновременное проявление и фиксирование обрабатываемого фотоматериала в одной ванне. При работе с такими растворами сокращается общая продолжительность обработки и предупреждается перепроявление фотоматериала, так как протекающие в фотослое химические превращения автоматически прекращаются после окончания идущих одновременно процессов восстановления металлического серебра и растворения остающихся галогенидов серебра. Балансировка скоростей этих процессов обеспечивается выбором соответствующего соотношения веществ, входящих в состав раствора. Проявляюще-фиксирующий раствор,

предложенный Н. И. Кирилловым, предназначается для обработки негативных и позитивных пленок и фотопластинок:

Сульфит натрия безвод- ный, г	35
Гидрохинон, г	25
Едкий натр, г	28
Калий бромистый, г	25
Калий подистый, г	3
Тиосульфат натрия кри- сталлический, г	100—150
Вода, л	До 1

Необходимое для каждого конкретного случая обработки фотоматериалов количество тиосульфата натрия определяется предварительной пробой. При температуре 20°C время обработки негативных материалов около 6 мин, позитивных — 1—2 мин. При обработке фотоматериала в проявляюще-фиксирующем растворе его светочувствительность снижается в 2—3 раза, что необходимо учитывать при съемке. Раствор вызывает сильное размягчение фотослоя. Поэтому необходимо очень аккуратно обрабатывать в нем фотоматериал. Образующийся в растворе осадок периодически надо фильтровать.

§ 7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБРАБОТКЕ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ СПОСОБОМ ОБРАЩЕНИЯ

При обработке экспонированного фотоматериала способом обращения образуется позитивное изображение, минуя процессы получения негатива и печати с него. Обычно для этих целей используют специальные, так называемые обрабатываемые фотоматериалы. В некоторых случаях могут применяться высококонтрастные негативные и позитивные пленки. Процесс обращения состоит из следующих операций:

1. *Первое проявление.* Для обработки фотопленки используется энергичный высокощелочной проявитель, обеспечивающий полное проявление экспонированных участков фотослоя.

2. *Промывка.* Эта операция должна обеспечить удаление из фотослоя веществ, оставшихся в нем от предыдущего обрабатывающего раствора и растворимых продуктов реакции.

3. *Отбеливание.* При этой операции металлическое серебро негативного изображения, полученного при первом проявлении, взаимодействует с двуххромовокислым калием и серной кислотой, входящими в состав отбеливающего раствора, и переводится в сернокислосое серебро:



Для создания лучших условий для растворения образующегося малорастворимого сернокислого серебра и удаления его вместе с другими продуктами реакции из фотослоя в отбели-

вающем растворе создают высокую степень кислотности (рН 1,2 ... 1,6). Оставшиеся в фотослое после отбеливания галогениды серебра по своему распределению по поверхности кадра соответствуют позитивному изображению.

4. *Промывка* (см. п. 2).

5. *Осветление*. При этой операции двуххромовокислый калий, который не был удален из фотослоя из-за удерживания его желатином, взаимодействует химически с сульфатом натрия, входящим в состав осветляющего раствора, и превращается в соединения, не имеющие окраски и хорошо вымываемые из слоя вместе с остатками серноокислого серебра и другими веществами.

6. *Промывка* (см. п. 2).

7. *Засветка или второе экспонирование*. В оставшихся в фотослое галогенидах серебра под действием света образуется скрытое изображение для обеспечения последующего проявления.

8. *Второе проявление*. При этой операции используется энергичный проявитель, обеспечивающий восстановление экспонированных галогенидов серебра в металлическое серебро. В результате проявления получают позитивное изображение.

9. *Промывка* (см. п. 2).

10. *Фиксирование*. Цель фиксирования та же, что и в негативном процессе — удалить из фотослоя остатки галогенида серебра.

11. *Окончательная промывка*. В ходе этой операции из фотослоя вымывают остатки тиосульфата натрия и продукты химических реакций, оставшиеся после фиксирования.

Существуют и другие способы обращения, при которых операции, описанные в пп. 7—10, заменены одной операцией — чернением фотоизображения в растворах сернистого натрия, тиомочевины или натрия тиосульфата.

Стандартный режим обработки черно-белых обращаемых фотопленок

	Продолжительность обработки, мин	Температура, °C
Первое проявление	4—12	20±0,5
Промывка	10	15±5
Отбеливание	7	19±1
Промывка	5	15±5
Осветление	7	19±1
Промывка	5	15±5
Общая засветка лампами 75 Вт на расстоянии 1 м от пленки	1—4	—
Второе проявление	6	20±0,5
Промывка	1	15±5
Фиксирование	5	19±1
Промывка	20	15±5
Сушка	До полного высыхания	

Примечание. До осветления обработку фотопленки необходимо проводить в темноте, начиная с осветления — при неярком электрическом освещении.

§ 8. УСИЛЕНИЕ И ОСЛАБЛЕНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Фотоизображение *усиливают*, когда требуется увеличить его оптическую плотность и контрастность. Усиление изображения основано на одном из двух принципов: исходные оптические плотности негатива повышаются вследствие прибавления к серебряному изображению дополнительного количества какого-либо металла или химического соединения; окрашивания (вирирования) серебряного изображения в тон, неактивный для позитивного материала, используемого при печати с этого негатива. Лучшие результаты дает усиление нормально экспонированных, но несколько недопроявленных негативов. Недодержки, допущенные при экспонировании, не дают желаемого результата, так как на негативе обычно отсутствуют детали на участках, получивших слишком малые экспозиции. По своему действию усилители делятся на пропорциональные (рис. 112, а), сверхпропорциональные (рис. 112, б) и субпропорциональные (рис. 112, в). Пропорциональные усилители увеличивают оптические плотности негатива пропорционально исходным плотностям. Контрастность изображения при этом повышается. Сверхпропорциональные усилители повышают контрастность изображения в еще большей степени. Субпропорциональные усилители увеличивают малые плотности в сравнении с исходными более заметно, чем большие. В таких усилителях контраст изображения повышается значительно меньше по сравнению с пропорциональными или сверхпропорциональными. Одним из пропорциональных усилителей является усилитель с двуххромовокислым калием и соляной кислотой (хромовый усилитель). При усилении негатив сначала отбеливают при температуре 20°C.

Состав отбеливателя такой:

Двуххромовокислый калий, г	8
Соляная кислота концентрированная, мл	6
Вода (холодная), л	До 1

Отбеливание проводят на свету и контролируют по оборотной стороне негатива. После отбеливания негатив промывают 5 мин в проточной воде, а затем проявляют повторно в энергичном проявителе, который содержит небольшое количество сульфита натрия и не окрашивает фотослой негатива. Продолжи-

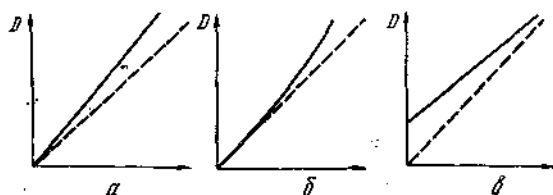
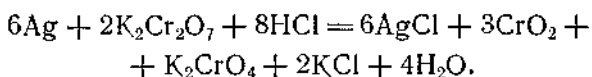


Рис. 112. Действие усилителей (пунктиром показаны плотности до усиления, сплошной — после усиления):

а — пропорционального; б — сверхпропорционального; в — субпропорционального

тельность проявления влияет на степень усиления негатива. В случае неполного проявления негатив после ополаскивания водой обрабатывают в течение 5 мин в фиксаже. После усиления негатив промывают в течение 20 мин и сушат. При необходимости еще большего усиления весь процесс повторяют. При обработке негатива в отбеливающем растворе происходит реакция



Двуокись хрома CrO_2 , образующаяся в процессе этой реакции, имеет бурый цвет. Отлагаясь на участках изображения, она усиливает его. Затем хлористое серебро снова переводится в металлическое при обработке негатива в энергичном проявителе. Примером сверхпропорционального усилителя может служить медный усилитель. Для усиления необходимы следующие три раствора и любой проявитель:

Раствор I

Сернистая медь, г	5
Бромистый калий, г	5,5
Вода, мл	200

Раствор II

Азотнокислое серебро, г	10
Аммиак	Несколько капель
Вода, мл	100

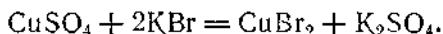
Раствор III

Сульфит натрия безводный, г	2,5
Вода, мл	100

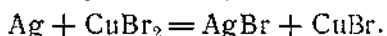
Негатив, подлежащий усилению, сначала обрабатывают в растворе I, затем кратковременно промывают и переносят в раствор II. Далее его снова промывают и обрабатывают несколько минут в растворе III. После промывки негатив опускают в любой проявитель и окончательно промывают и сушат.

Процесс усиления негатива может быть выражен тремя стадиями:

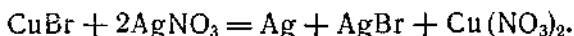
1. Получение бромной меди смешиванием растворов медного купороса и бромистого калия:



2. Отбеливание изображения бромной медью:



3. Обработка негатива в растворе азотнокислого серебра:



Затем следует процесс проявления, т. е. восстановления бромистого серебра в металлическое.

Типичным представителем субпропорциональных усилителей является урановый усилитель с железосинеродистым калием, окрашивающий изображение в цвет, задерживающий фиолетовые и синие лучи при печати с усиленного негатива. Для усиления негатива используют запасные растворы:

Раствор I

Азотнокислый уранил, г	1
Уксусная кислота (30 %-ная), мл	30
Вода, мл	До 200

Раствор II

Железосинеродистый калий, г	1
Вода, мл	До 200

Усиливаемые негативы необходимо предварительно тщательно промыть. Запасные растворы берут в равных количествах и непосредственно перед усилением смешивают, а затем опускают в раствор негатив. Ход усиления контролируют визуально. Усиленный негатив промывают при небольшом протоке воды и сушат. Сильная промывка вызывает ослабление негатива. Если промывная вода имеет щелочную реакцию, то фотоизображение ослабляется еще больше. Химические процессы, происходящие при усилении фотоизображения в урановом усилителе, могут быть выражены двумя уравнениями:

взаимодействие железосинеродистого калия с металлическим серебром изображения:



взаимодействие образованию железистосинеродистого серебра с азотнокислым уранилом:



Фотоизображение после обработки в урановом усилителе состоит только из окрашенных частиц железистосинеродистого уранила, образовавшегося при второй реакции. Серебро изображения, перейдя в результате химических реакций в азотнокислое серебро, вымывается из фотослоя.

Фотоизображения *ослабляют* в случае перепроявления, большой передержки, допущенной при съемке, или при большой вуали, образовавшейся на изображении во время проявления. Перепроявленное изображение имеет обычно повышенную общую плотность и высокую контрастность. При сильной передержке и большой вуали изображение будет иметь повышенную общую плотность и невысокую контрастность, т. е. плохую проработку деталей в тенях. В химическом отношении процесс ослаб-

ления заключается в окислении серебра изображения и превращении его в соединение, легко растворимое в воде или растворе тиосульфата натрия. По своему действию ослабители делятся на поверхностные, или субтрактивные (рис. 113, *а*), пропорциональные (рис. 113, *б*) и суперпропорциональные (рис. 113, *в*). Поверхностные, или субтрактивные, ослабители удаляют серебро изображения в малых и больших плотностях практически одинаково, т. е. контраст изображения не изменяется. В основном такие ослабители применяют для уменьшения вуали на фотоизображении. Пропорциональные ослабители уменьшают контраст изображения вследствие большего ослабления больших плотностей по сравнению с малыми. Суперпропорциональные ослабители плотные участки изображения ослабляют значительно сильнее, чем менее плотные, вследствие чего контраст изображения уменьшается в еще большей степени, чем при пропорциональном ослаблении. Примером поверхностного (субтрактивного) ослабителя может служить фермеровский ослабитель с железосинеродистым калием и тиосульфатом натрия. Ослабитель состоит из двух растворов:

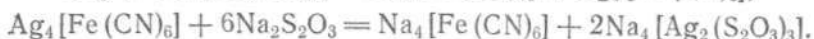
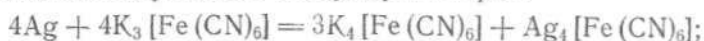
Раствор I

Тиосульфат натрия, г	10
Вода, мл	100

Раствор II

Железосинеродистый калий, г	10
Вода, мл	100

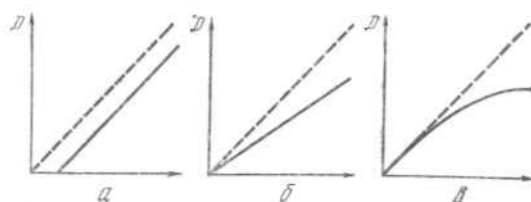
Негатив можно ослаблять сначала в первом, а затем во втором растворе или в смеси растворов. Для приготовления смеси берут раствор I объемом 100 мл и раствор II объемом 8 мл. Ход процесса ослабления контролируют визуально. При смешивании раствор быстро разлагается. В результате взаимодействия железосинеродистого калия с серебром изображения образуется железосинеродистое серебро, хорошо растворимое в растворе ослабителя, содержащего тиосульфат натрия:



Пропорциональное ослабление может быть осуществлено в ослабителе, имеющем в своем составе те же компоненты, что и

Рис. 113. Действие ослабителей (пунктиром показаны плотности до ослабления, сплошной—после ослабления):

а — субтрактивного; *б* — пропорционального; *в* — суперпропорционального



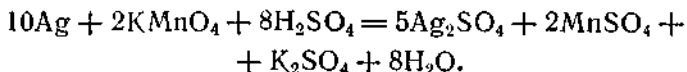
фармеровский ослабитель, но концентрация железосинеродистого калия в нем должна быть около 0,5 %. Примером пропорционального ослабителя может служить ослабитель с марганцовокислым калием и серной кислотой:

Марганцовокислый калий, г	1
Серная кислота концентрированная, мл	5
Вода, л	1

Негатив предварительно хорошо промывают и затем опускают в ослабляющий раствор. При недостаточной промывке на фотослое могут появиться пятна, которые рекомендуется удалить в растворе следующего состава:

Сульфит натрия безводный, г	75
Шавелевая кислота, г	30
Вода, л	1

При ослаблении изображения в ослабителе с марганцовокислым калием и серной кислотой происходит химическая реакция

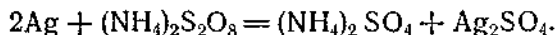


Образующиеся в результате реакции вещества растворяются в воде.

При ослаблении негатива в ослабителе с персульфатом аммония и серной кислотой происходит суперпропорциональное ослабление. Состав ослабителя следующий:

Персульфат аммония, г	2
Серная кислота (10 %-ная), мл	1,5
Вода дистиллированная, мл	100

Перед ослаблением негатив должен быть хорошо промыт. При ослаблении процесс уменьшения оптических плотностей сначала идет медленно, а затем ускоряется. Негатив нельзя вынимать из раствора для осматривания на длительное время, так как это может привести к образованию на нем пятен. После ослабления негатив очень быстро промывают и затем останавливают процесс, опустив негатив в 10 %-ный раствор сульфита натрия. После выдерживания в этом растворе в течение нескольких минут негатив промывают и сушат. В процессе ослабления персульфат аммония реагирует с серебром изображения:



Образующийся в процессе реакции сернокислый аммоний способствует ослаблению, улучшая растворимость сернокислого серебра,

ГЛАВА VIII

ПОЗИТИВНЫЙ ЧЕРНО-БЕЛЫЙ ПРОЦЕСС

§ 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ С СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТЕОРИИ ТОНОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Сущность процесса печати с сенситометрической точки зрения дает возможность глубже понять условия, обеспечивающие получение высококачественного позитивного изображения. Одна из особенностей сенситометрии фотобумаг состоит в том, что с увеличением времени проявления контрастность изображения изменяется до определенного предела, а затем увеличивается только оптическая плотность. Необходимую контрастность позитивного изображения получают путем подбора к данному негативу фотобумаги, соответствующей степени контрастности.

При нормальной экспозиции (рис. 114, а) прошедший через максимальную и минимальную плотности негатива свет будет соответствовать точкам над ними на оси логарифмов экспозиций. После проявления на отпечатке получатся оптические плотности, обозначенные точками $D_{\max}$ и $D_{\min}$ на характеристической кривой фотобумаги. Таким образом, в случае нормальных экспозиций все плотности негатива от максимальной до минимальной передадутся на отпечатке оптическими плотностями, лежащими на рабочем участке характеристической кривой между точками $D_{\max}$ и $D_{\min}$, т. е. между областью недодержек и передержек.

При недодержке (рис. 114, б) через максимальную и минимальную плотности негатива пройдет слишком малое количество света. После проявления на отпечатке будут получены соответственно более низкие плотности в интервале $D_{\max}$ и $D_{\min}$.

Противоположное положение создается при передержке* (см. рис. 114, в), когда при печати фотобумага получает слишком большие экспозиции. При этом света и тени на отпечатке имеют повышенную плотность. В тенях плотности сливаются и в результате проработать полутени на этих участках невозможно.

В теории фотографического воспроизведения тонов рассматриваются вопросы точности передачи на изображении яркостей объекта съемки.

Воспроизведение деталей яркостей объекта съемки на негативе. На оси абсцисс (рис. 115), представляющей собой ось логарифмов экспозиций, отложены точки с одинаковым интервалом $\Delta \lg B$, соответствующие четырем различным яркостям объекта. Из этих точек восставляют перпендикуляры, на каждом из которых отложена величина полученной оптической плот-

* Имеется в виду, что интервал плотностей негатива равен по величине полезному интервалу экспозиций фотобумаги.

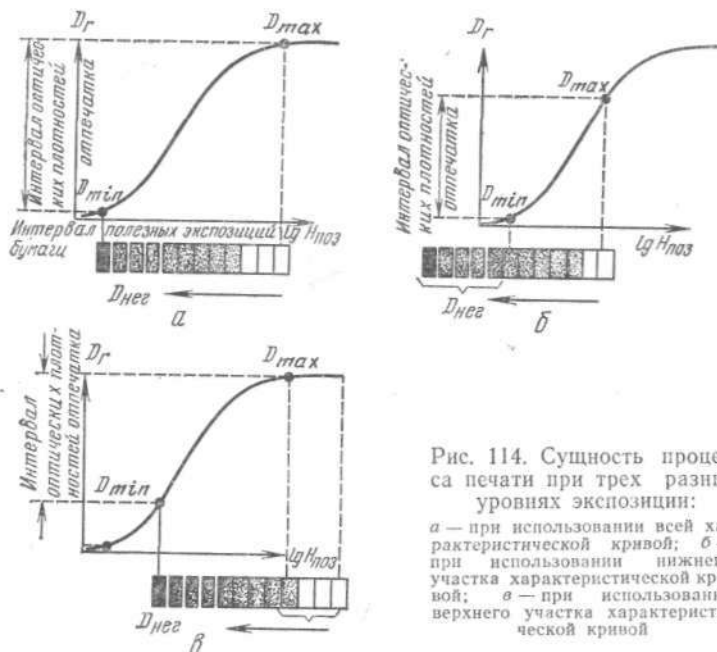


Рис. 114. Сущность процесса печати при трех разных уровнях экспозиции:

а — при использовании всей характеристической кривой; б — при использовании нижнего участка характеристической кривой; в — при использовании верхнего участка характеристической кривой

ности. Соединив вершины перпендикуляров плавной линией, получим характеристическую кривую негатива. Для прямолинейного участка этой кривой существует зависимость

$$\Delta D_{\text{neg}} = \Delta \lg B \gamma,$$

где γ — коэффициент контрастности негативного материала, равный $\lg \alpha$.

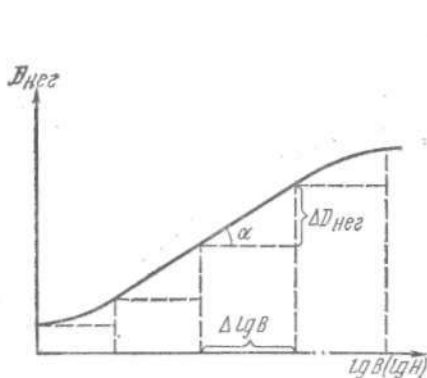


Рис. 115. Воспроизведение деталей яркостей объекта съемки на негативе

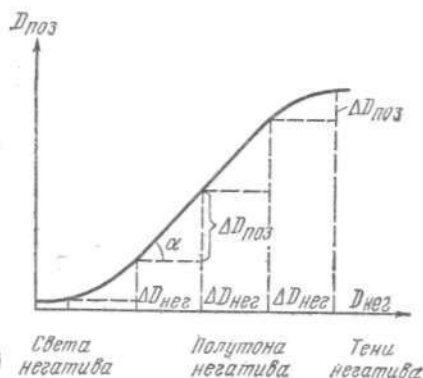


Рис. 116. Зависимость между оптическими плотностями негатива и позитива

На основании выведенной формулы можно сказать, что при $\gamma_{\text{neg}} = 1$ прямолинейный участок характеристической кривой будет расположен по отношению к осям абсцисс и ординат под углом 45° . При этом приращения оптических плотностей негатива будут равняться приращениям логарифмов яркостей объекта съемки, т. е. $\Delta D = \Delta \lg B$, что показывает правильность воспроизведения тонов в съемочном негативном процессе. На практике негатив проявляют до меньшего значения коэффициента контрастности.

Зависимость между оптическими плотностями негатива и позитива. На ось абсцисс (рис. 116) нанесены значения оптических плотностей негатива, отличающиеся между собой на постоянную величину ΔD_{neg} . Изменения этих плотностей соответствуют различным по величине экспозициям, сообщаемым через эти плотности позитиву. Из крайних точек отрезков, равных ΔD_{neg} , восставлены перпендикуляры, высота которых равна оптическим плотностям, образовавшимся под действием полученных экспозиций. Верхние точки перпендикуляров соединены плавной кривой, которая выражает зависимость между оптическими плотностями позитива и негатива и является характеристической кривой позитивного материала. В прямолинейной области полученной характеристической кривой обнаруживается взаимозависимость между разностями плотностей негатива ΔD_{neg} и приращениями плотностей позитива ΔD_{poz} :

$$\Delta D_{\text{poz}} = \Delta D_{\text{neg}} \gamma_{\text{poz}}$$

где γ_{poz} — коэффициент контрастности позитивного материала, равный $\lg \alpha$.

Приращения оптических плотностей позитива зависят от разницы плотностей негатива и от коэффициента контрастности позитива. Если $\gamma_{\text{poz}} = 1$, то $\Delta D_{\text{poz}} = \Delta D_{\text{neg}}$. При $\gamma_{\text{poz}} > 1$ деталь плотности в позитиве больше соответствующей детали плотности в негативе, а при $\gamma_{\text{poz}} < 1$, — наоборот. Таким образом, выведены следующие два уравнения:

$$\Delta D_{\text{neg}} = \Delta \lg B \gamma_{\text{neg}}; \quad \Delta D_{\text{poz}} = \Delta D_{\text{neg}} \gamma_{\text{poz}}.$$

Подставив во второе уравнение вместо ΔD_{neg} равное ему значение $\Delta \lg B \gamma_{\text{neg}}$, получим

$$\Delta D_{\text{poz}} = \lg B \gamma_{\text{neg}} \gamma_{\text{poz}}.$$

Это уравнение показывает, что детали плотностей позитива отличаются от деталей яркостей объекта тем больше, чем больше γ_{neg} и γ_{poz} . При этом изменение одного из коэффициентов контрастности можно компенсировать изменением другого. Произведение коэффициентов контрастности негатива и позитива называется *результурующей гаммой* $\gamma_{\text{рез}}$. В связи с тем что на фотоизображении, получаемом на фотобумаге, используется не только прямолинейный участок характеристической кривой, но и области недодержек и передержек, контрастность фото-

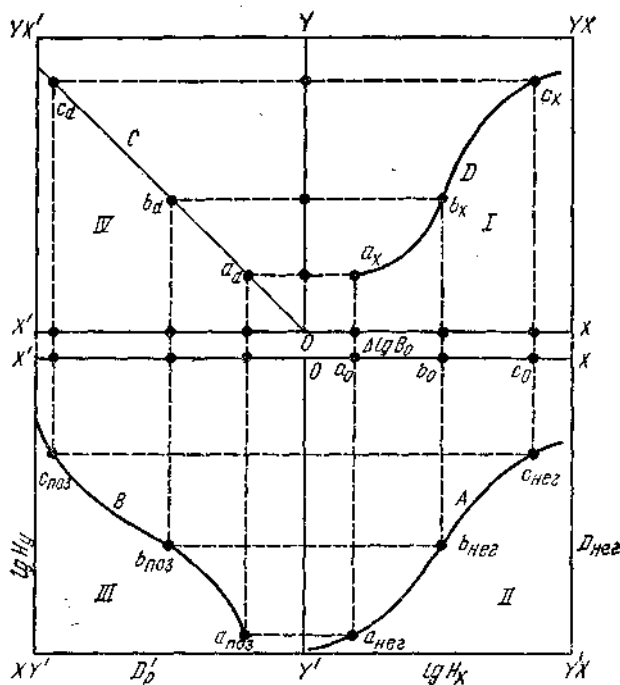


Рис. 117. Кривая тоновоспроизведения

бумаги может быть выражена величиной среднего градиента $\bar{g}_{\text{поз}}$:

$$Y_{\text{рез}} = Y_{\text{нег}} \bar{g}_{\text{поз}}.$$

Если $Y_{\text{рез}} = 1$, то плотность детали позитива будет равна соответствующей яркости детали объекта, т. е. $\Delta D_{\text{поз}} = \Delta \lg B$. В этом случае объект съемки воспроизводится правильно, т. е. прорабатываются все детали фотографируемого объекта. Это условие действует только в области прямолинейных участков характеристических кривых. На криволинейных участках характеристических кривых воспроизведение тонов достигается более сложным путем.

Кривая тоновоспроизведения. Это зависимость между яркостями деталей объекта и оптическими плотностями в позитиве. Ее строят на бланке, имеющем четыре квадранта (рис. 117).

В квадранте II построена характеристическая кривая A негатива. На верхней оси OX этого квадранта нанесены логарифмы яркостей объекта съемки с деталями яркостей. На ней выбраны три яркости — a_0 , b_0 и c_0 , которые будут использованы при дальнейших построениях. На нижнюю ось нанесены логарифмы

экспозиций $\lg H_x$, а на ось $X'Y'X$ — оптические плотности негатива D_{neg} .

В квадранте III построена характеристическая кривая В позитивного материала (она видна в обычном виде, если чертеж повернуть против часовой стрелки на 90°). В этом квадранте на ось $X'Y'$ нанесены логарифмы экспозиций $\lg H_y$, действующие на позитив при печати с негатива А.

В квадранте IV через начало координат под углом 45° к ним проведена прямая С, облегчающая графический перенос плотностей $c_{\text{поз}}$, $b_{\text{поз}}$ и $a_{\text{поз}}$ в квадрант I*. Из точек, соответствующих яркости a_0 , b_0 и c_0 , опущены перпендикуляры на характеристическую кривую негатива. Из точек пересечения a_{neg} , b_{neg} и c_{neg} проведены горизонтальные линии до пересечения с характеристической кривой позитива. При этом получают точки $a_{\text{поз}}$, $b_{\text{поз}}$ и $c_{\text{поз}}$. Восстановленные из этих точек перпендикуляры пересекут прямую С в точках a_d , b_d и c_d . Из точек a_d , b_d и c_d проводят к квадранту I горизонтальные линии, а из точек a_0 , b_0 и c_0 — перпендикуляры. Соединяя точки их пересечения a_x , b_x и c_x , получают кривую D, выражающую зависимость между яркостями деталей объекта и плотностями соответствующих деталей в позитиве. Эту кривую обычно строят с помощью значительно большего числа точек. При идеальном фотовоспроизведении объекта съемки кривая воспроизведения должна принять вид прямой линии, идущей под углом 45° к осям.

§ 2. ПОДБОР ФОТОБУМАГИ К НЕГАТИВУ И ЭКСПОЗИЦИЯ ПРИ ПЕЧАТИ

При подборе фотобумаги к негативу учитывают многие факторы, среди которых можно назвать контрастность и интервал плотностей негатива, характер объекта съемки, содержание снимка и др. При этом, если негатив контрастный, следует использовать мягкую по контрастности фотобумагу; если мягкий, то, наоборот, контрастную. Соответственно для нормального негатива требуется нормальная фотобумага. Однако это правило не соблюдают в технической, например репродукционной, фотографии, когда для печати с контрастного штрихового негатива используют контрастную фотобумагу. При правильном подборе фотобумаги удастся в определенных пределах уменьшить влияние градационных недостатков негатива, полученных на нем при съемке и химико-фотографической обработке, и добиться на отпечатке правильной передачи соотношения яркостей объекта съемки.

Контрастность изображения, получаемого на негативе, обычно меньше контрастности объекта. Это происходит потому, что

* При большом отличии условий рассматривания объекта и его изображения линия С может принять иные форму и угол наклона.

экспонированный негативный фотоматериал проявляют до невысокого коэффициента контрастности (меньше единицы) и из-за влияния светорассеяния, происходящего в фотоаппарате. Светорассеяние снижает интервал яркостей оптического изображения. Величина светорассеяния зависит от особенностей объекта съемки и характеризуется коэффициентом потери контраста β_c . Получение требуемой контрастности изображения на позитиве обеспечивается подбором фотобумаги в зависимости от величины контрастности, до которой проявлен негатив. В связи с тем что негатив проявляется обычно до коэффициента контрастности меньше единицы, фотобумаги имеют соответственно более высокий коэффициент контрастности. По причине светорассеяния необходимо внести поправку в значение результирующего коэффициента контрастности, т. е. произведение коэффициента контрастности негатива на средний градиент позитива должно получаться несколько больше единицы:

Яркость объекта съемки, кд/м ²	β_c	$\gamma_{рез}$
Малая — 0,3—0,5	0,9	1,1
Средняя — 0,6—1,5	0,8	1,2
Повышенная — 1,6—2	0,7	1,4
Высокая — 2,2—4	0,6	1,6

Исходя из приведенных значений, можно определить средний градиент фотобумаги, подбираемой к тому или иному негативу.

Пример. При съемке объекта с повышенным интервалом яркостей $\gamma_{рез} = 1,4$. Используя формулу $\gamma_{рез} = \gamma_{нег} = \bar{g}_{поз}$, получим, что средний градиент фотобумаги должен быть $\bar{g}_{поз} = 1,4/\gamma_{нег}$. Точное значение коэффициента контрастности $\gamma_{нег}$, до которого проявлен негатив в крупных лабораториях, находят сенситометрически, т. е. путем проявления контрольной сенситограммы, экспонированной в сенситометре. В небольших лабораториях негатив проявляют до рекомендуемого коэффициента контрастности, используя стандартный проявитель и обрабатывая фотоматериал в течение времени и при температуре, указанных на его упаковке. Тогда средний градиент фотобумаги, требующейся к негативу на пленке с $\gamma_{нег} = 0,8$, должен быть $\bar{g} = 1,4/0,8 = 1,75$.

Конкретный сорт фотобумаги для данного негатива при контактной печати (например, с фотопластинки) можно определить по табл. 8.

Фотобумагу подбирают с учетом интервала оптических плотностей негатива, так как хорошее качество позитива получают только в том случае, если полезный интервал экспозиций фотобумаги соответствует интервалу оптических плотностей негатива. Полезный интервал экспозиций фотобумаги и ее контрастность имеют следующую зависимость: чем больше контрастность фотобумаги, тем меньше полезный интервал экспозиций, и наоборот. Приведем схемы сенситометрического подбора фотобумаги к негативу.

Табл. 8. Определение фотобумаги для конкретного негатива

Негатив		Фотобумага	
Контрастность	Ориентировочное значение $\gamma_{\text{нег}}$	Интервал полезных экспозиций, лк·с	Контрастность
Контрастный	1,7—2	Не менее 1,4	Мягкая
Нормальный	1,3—1,6	1—1,2	Нормальная
Мягкий	0,9—1,2	0,8—0,9	Контрастная
Вялый	0,3—0,6	Не более 0,7	Особо контрастная

В первом случае интервал полезных экспозиций фотобумаги одинаков с интервалом оптических плотностей негатива (рис. 118, а). Это оптимальный вариант. При правильно подо-

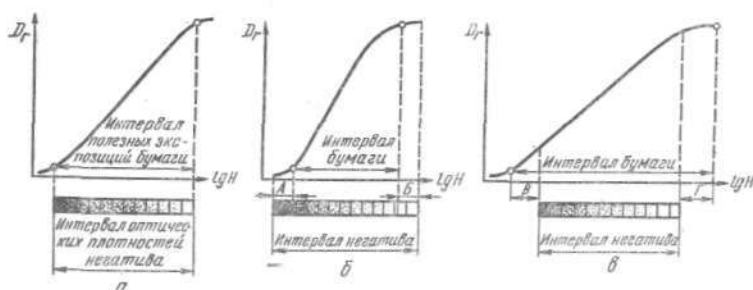


Рис. 118. Схема сенситометрического подбора фотобумаги:

а — интервал полезных экспозиций фотобумаги равен интервалу оптических плотностей негатива; б — интервал полезных экспозиций фотобумаги меньше интервала оптических плотностей негатива; в — интервал полезных экспозиций фотобумаги больше интервала оптических плотностей негатива

бренным времени экспонирования через максимальную плотность негатива на фотобумагу подействует экспозиция, соответствующая нижней точке характеристической кривой фотобумаги. После проявления на отпечатке будет получена оптическая плотность, соответствующая начальной точке интервала экспозиций фотобумаги. Экспозиция, действующая за минимальной плотностью негатива, будет соответствовать верхнему участку характеристической кривой, и после проявления фотобумаги в этом месте будет получена оптическая плотность, соответствующая конечной точке полезного интервала экспозиций.

Во втором случае интервал полезных экспозиций фотобумаги меньше интервала оптических плотностей негатива (рис. 118, б). При печати на такую фотобумагу удовлетворительно воспроизведется изображение только со средней по величине оптической плотностью негатива, т. е. на соответствующем участке всем приращениям оптических плотностей в негативе будут соответствовать пропорциональные приращения

плотностей в позитиве. Участки негатива, обозначенные буквами *А* и *Б*, передадутся еще заметным различием плотностей, так как эти части изображения попадают соответственно в области недодержек и передержек характеристической кривой фотобумаги. Увеличивая или уменьшая время экспонирования в определенных пределах, можно добиться улучшения передачи одного из этих участков (например, участка *А*), но при этом ухудшится передача второго участка (в данном случае участка *Б*).

Третий случай характеризует положение, когда интервал полезных экспозиций фотобумаги значительно больше интервала оптических плотностей негатива (рис. 118, *в*). В приведенном случае света позитива имеют повышенную плотность, а тени — пониженную. В целом изображение на отпечатке будет серым, без глубоких теней и ярких светов. При изменении экспозиции оптические плотности отпечатка переместятся вверх (участок *Г*) или вниз (участок *В*), что вызовет в светах и тенях уменьшение или увеличение плотностей одновременно. Таким образом можно исправить изображение на одном участке (в светах или тенях) и ухудшить на другом.

Матовые фотобумаги дают меньшие максимальные плотности по сравнению с глянцевыми, что ведет к получению на матовых и глянцевых фотобумагах разных интервалов плотностей отпечатков и разных коэффициентов контрастности фотизображения. Это происходит несмотря на то, что коэффициенты контрастности матовых фотобумаг будут равнозначными. Вид поверхности фотобумаги оказывает влияние также на передачу деталей фотозображения. Так, гладкая глянцевая фотобумага передает мелкие детали негатива лучше, чем матовая, но подчеркивает его зернистость, а также различные механические дефекты эмульсионного слоя негатива. В этом отношении лучшим можно считать фотобумаги со структурной поверхностью, скрывающей дефекты негатива.

При печати требуется точное определение времени экспонирования, так как неточность, допущенная при этом, практически мало может быть исправлена при проявлении отпечатка. Правильное время экспонирования находят с помощью практических проб, отпечатанных с нарастающими временами экспонирования (обычно на одном листе фотобумаги). После их проявления выбирают лучший по общей оптической плотности участок и дальнейшую печать с этого негатива производят с тем же временем экспонирования, с какой получена данная проба.

При контактной печати время экспонирования имеет прямую пропорциональную зависимость от квадрата расстояния между источником света и эмульсионным слоем фотобумаги и обратную пропорциональную зависимость от силы источника света, прозрачности негатива и светочувствительности фотобумаги.

Для определения экспозиции при печати с того или иного негатива существуют специальные приборы, принцип работы которых основан на измерении средневзвешенной плотности негатива или плотности его сюжетно важной части.

Контактная печать. При контактной печати получают позитивное изображение того же масштаба, что и негатив. Для печати используют специальные копировальные рамки и контактные копировальные станки.

Копировальная рамка (рис. 119) состоит из металлического или деревянного корпуса (рамки), в который закладывают негатив на стеклянной подложке. Сверху на него кладут фотобумагу (фотослоями друг к другу). Бумагу плотно прижимают к негативу крышкой с пружинами. При печати с негативов на гибкой подложке под негатив вставляют стекло, обеспечивающее плотный контакт фотослов негатива и фотобумаги. После зарядки рамки фотобумагу экспонируют, т. е. освещают светом через негатив. Мощность источника света, расстояние рамки от него и продолжительность экспонирования определяют опытным путем. В зависимости от плотностей негатива на разных участках фотобумаги получают неодинаковые экспозиции.

Контактный копировальный станок — более совершенный прибор. Внутри светонепроницаемого корпуса 1 (рис. 120) этого прибора установлены электролампы 2 белого света, включаемые при печати, и лампа 3, дающая неактивный свет, при котором можно правильно совместить негатив и фотобумагу перед печатью. В верхней части станка имеется прозрачное стекло 5, на которое кладут негатив. Под негативным стеклом установлено матовое светорассеивающее стекло 6, на которое при необходимости кладут куски восковой бумаги, оттеняющие отдельные участки негатива. Сверху на негатив кладут фотобумагу и плотно прижимают ее к негативу крышкой 7 с подушкой 8 (воздушной или поролоновой). При печати включают белые лампы станка с помощью выключателя (кнопки) 4. В некоторых станках лампы включаются автоматически при

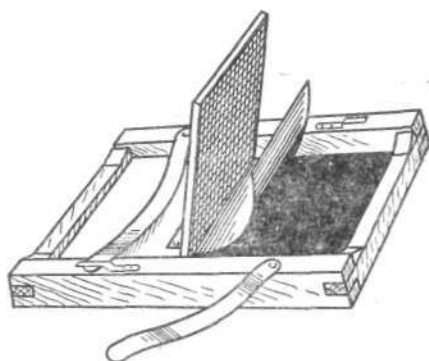


Рис. 119. Копировальная рамка

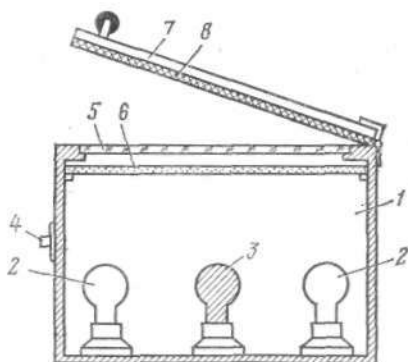


Рис. 120. Схема контактного копировального станка

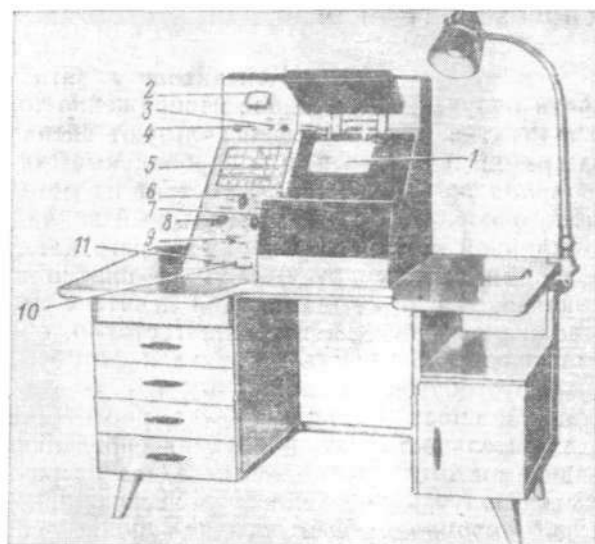
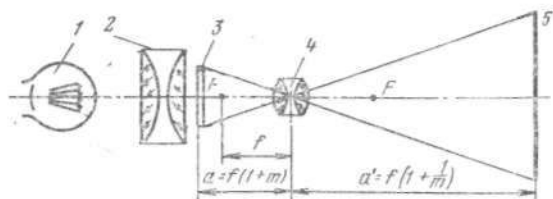


Рис. 121. Полуавтоматический контактно-копировальный прибор ПКП-1

опускании крышки. Время экспонирования отсчитывают по секундомеру или с помощью реле времени, входящего в комплект станка. Контактные станки снабжены также вольтметром, позволяющим контролировать напряжение, подаваемое на лампы, и при необходимости регулировать его.

Станки более сложных конструкций имеют большое число ламп, включаемых отдельно друг от друга или группами, что позволяет менять освещенность негатива на отдельных его участках и тем самым выравнять экспозиции. Примером такого станка может служить отечественный *полуавтоматический контактно-копировальный прибор ПКП-1*. Экспонирование проводят в световой камере 1 (рис. 121) с 24 миниатюрными лампами накаливания. Слева от световой камеры имеется пульт управления прибором, освещаемый специальным фонарем неактиничного света 2. На пульте установлены следующие органы управления: выключатель 3 привода прижимной крышки; общий выключатель 4; клавишные выключатели 5, позволяющие включить или выключить те или иные лампы под негативом; переключатели 6 и 7 размера освещаемого кадра и общего накала ламп; регулятор времени экспонирования 8; переключатель 9 ручного и автоматического управления прижимной крышкой; клавиши 10 автоматического прижима и 11 ручного подъема прижимной крышки. Фотобумагу плотно прижимают к негативу; сверху спускают подушку, приклеенную к прижимной крышке прибора.

Рис. 122. Оптическая схема фотоувеличителя



Процесс печати на любом контактном станке проходит при общем неактиничном для позитивного материала освещении. Копировальный станок подготавливают к работе. На верхнее стекло станка кладут негатив эмульсионным слоем вверх. Затем путем практических проб устанавливают время экспонирования. При необходимости отдельные участки оттеняют (кусками восковки под стеклом или отключают для этого соответствующие лампы). Сверху на негатив кладут фотобумагу эмульсионным слоем вниз и прижимают ее крышкой к негативу. Затем включают подобранный источник света станка и экспонируют негатив. После этого лампы выключают, поднимают прижимную крышку, снимают экспонированный лист фотобумаги и проявляют его. В полуавтоматических приборах крышка опускается и поднимается автоматически.

Проекционная печать. Проекционная (оптическая) печать позволяет получать увеличенное, уменьшенное или одинаковое по размерам с негативом позитивное изображение. При этом могут быть в определенной степени исправлены перспективные искажения, возникающие при съемке, т. е. изображение трансформировано. В связи с тем что при проекционной печати обычно получают увеличенное по сравнению с негативом изображение, приборы, применяемые для экспонирования фотобумаги, называют *фотоувеличителями*. Изображение негатива в этих приборах проецируется с помощью оптической системы на фотослой фотобумаги. Основные элементы оптической схемы фотоувеличителя следующие: источник света 1 (рис. 122), конденсор 2, имеющий две плосковыпуклые линзы и обеспечивающий равномерное освещение негатива 3. Изображение негатива проецируется объективом 4 фотоувеличителя на эмульсионный слой позитивного фотоматериала (фотобумаги) 5.

В зависимости от положения оптической оси проекционной системы различают вертикальные и горизонтальные фотоувеличители. Приборы первого типа составляют наиболее многочисленную группу. Горизонтальные фотоувеличители предназначены в основном для сверхувеличений, т. е. для получения крупноформатных снимков, что достигается большим удалением проектора от экрана.

Фотоувеличитель «Беларусь-5» состоит из следующих узлов и деталей: экрана 1 (рис. 123), штанги 2 перемещения объектива при фокусировке (наводке на резкость), рукоятки 3 фокусировки, рукоятки 4 освобождения штан-

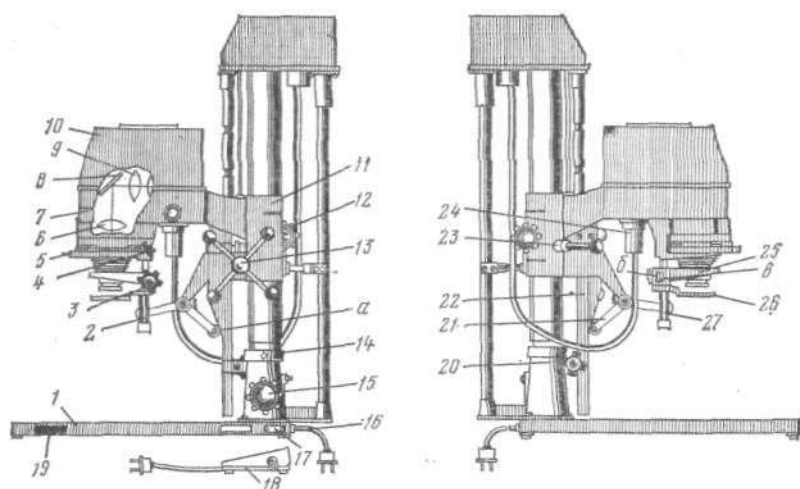


Рис. 123. Фотоувеличитель «Беларусь-5»

ги при включении системы автоматической фокусировки, негативной рамки 5, сменной линзы 6 конденсора, рамки 7 для установки корректирующих светофильтров при цветной печати, ломающего зеркала 8, сменной линзы 9 конденсора, корпуса 10 фонаря, кронштейна 11, рукоятки 12 зажима кронштейна, штурвала 13 перемещения фонаря при изменении масштаба изображения, гайки 14 узла подъема штанги на высоту кадрирующей рамки, рукоятки 15 зажима штанги, винта 16 заземления, розетки 17 для подключения ножной педали включения лампы фотоувеличителя, ножной педали 18, тумблера 19 включения лампы фотоувеличителя, рукоятки 20 закрепления лекала, обеспечивающего перемещение объектива при автоматической фокусировке, рычага 21, клина 22, фиксатора 23 стандартных форматов снимков, патрона 24 электролампы, кронштейна 25 с объективом, откидного светофильтра 26, направляющей штанги 27. На рисунке *a* — штрих, отмечающий исходное положение при работе системы автоматической фокусировки ст 1,5 $\times$; *б* — контрольный штрих на штанге; *в* — контрольная точка на кронштейне (для включения прибора в режим автоматической фокусировки штрих *б* совмещают с контрольной точкой *в*).

Конденсор фотоувеличителя может состоять из одной, двух и трех линз. Чем больше линз, тем больше угол охвата конденсора, т. е. телесный угол конуса лучей лампы, падающих на него, и тем больше освещенность экрана. Однолинзовые конденсоры имеют угол охвата до 40°, двухлинзовые — до 50° и трехлинзовые — до 80°. Равномерное освещение негатива обеспечивается специальной настройкой осветительной системы фотоувеличителя. При этом осветительную лампу перемещают вниз или вверх и в горизонтальной плоскости. Эту настройку называют центрированием лампы. Правильность настройки контролируют по освещенности экрана. Диафрагма объектива при центрировании лампы должна быть полностью закрыта и матовое стекло снято. Наиболее яркое и равномерное освещение экрана будет в том случае, если свет, проходящий через конденсор, образует в объективе изображение тела накала лам-

ны. Этого можно добиться при сопряжении расстояния между объективом и конденсором с расстоянием между лампой и конденсором. При изменении масштаба увеличения прибор необходимо перенастраивать, так как при новой фокусировке сопряжение элементов лампа — конденсор — объектив нарушается. Если между источником света и конденсором имеется рассеиватель в виде матового или молочного стекла, прибор при небольших изменениях масштаба можно не перенастраивать. Следует указать, что рассеиватели несколько снижают общую освещенность негатива и экрана, но в то же время они в определенной степени делают менее заметными зернистость, царапины и другие механические дефекты негатива. Рассеиватели помогают добиться наиболее равномерной освещенности экрана. В нижней части фонаря (проектора) большинства фотоувеличителей имеется выдвижная рамка для установки корректирующих светофильтров при цветной печати. Лучшие результаты в отношении использования света достигаются при использовании ламп с компактным телом накала, когда изображение тела накала полностью вмещается в зрачок объектива фотоувеличителя. Если в увеличителе имеется лампа с большим телом накала и нет рассеивателя, то при диафрагмировании объектива освещенность экрана не меняется до тех пор, пока края диафрагмы не перекроют изображения светящейся нити в зрачке объектива. При дальнейшем уменьшении отверстия диафрагмы изображение нити полностью перекрывается и освещенность экрана резко снижается. При диафрагмировании объектива увеличивается глубина резкости проецируемого на экран изображения, что позволяет в случае непараллельности экрана и негатива в определенных пределах избежать заметной нерезкости. Масштаб изображения негатива на экране изменяется при изменении расстояния между объективом и негативом. При увеличении первого расстояния масштаб увеличивается, при этом второе расстояние для сохранения резкости должно быть уменьшено. Математическую зависимость между этими расстояниями и главным фокусным расстоянием объектива выводят на основании главной формулы линзы. Перемещают фонарь фотоувеличителя и изменяют масштаб изображения с помощью подвесок. На рис. 124, а — г показаны виды подвесок фонаря фотоувеличителя, получившие наибольшее распространение. Встречаются фотоувеличители, имеющие наклонную штангу. Под объективом фотоувеличителя устанавливают защитный светофильтр, предупреждающий засветку фотобумаги и позволяющий правильно расположить ее относительно проецируемого на экран изображения. Перед экспонированием светофильтр отводят в сторону.

Экран фотоувеличителя служит для размещения на нем фотобумаги. Для сравнения фотобумаги ее вкладывают в специальную кадрирующую рамку (рис. 125), дающую по краям

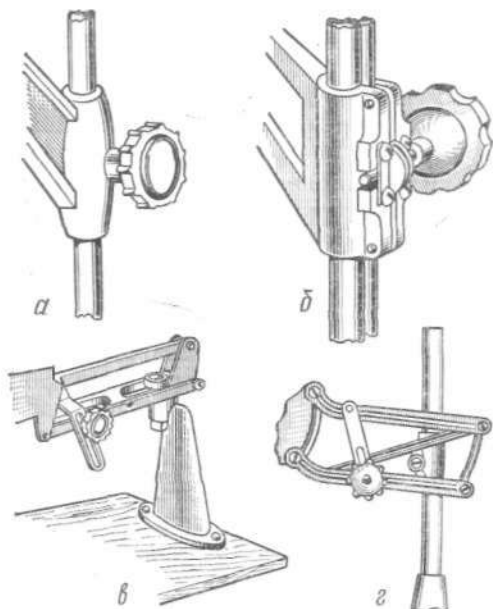


Рис. 124. Подвески фонаря фотоувеличителя:

а — на скользящей стяжной муфте;
б — фрикционная; в — консольная
на качающихся тягах; г — комби-
нированная

изображения ровный белый кант. В фонаре зеркальных фотоувеличителей имеется специальное зеркало, установленное на одном уровне с лампой и отбрасывающее свет вниз на конденсор и негатив. Такое конструктивное решение позволяет несколько уменьшить размер фонаря.

Наводка на резкость осуществляется перемещением объектива вдоль оптической оси путем вращения винтовой оправы

фокусировочной втулки или передвижения объектива вдоль направляющих с помощью винта. Резкость изображения обычно оценивают визуально. Иногда применяют определители резкости, которые вставляют в негативную рамку фотоувеличителя. Эти приспособления представляют собой пленку со сложным тонким орнаментом, облегчающим наводку на резкость. После наводки определитель резкости вынимают из рамки увеличителя и на его место вставляют негатив. Наводку на резкость можно контролировать с помощью диафрагмы, которую надевают на объектив фотоувеличителя.

Диафрагма (рис. 126) состоит из кольца с поперечной планкой, делящей зрачок объектива на две половины, каждая из которых самостоятельно строит изображение негатива на экране. Если при надевании диафрагмы на объектив изображение

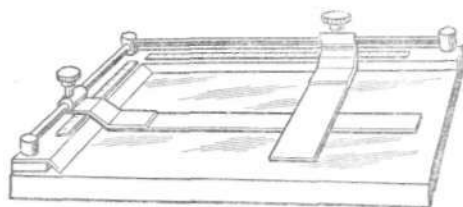


Рис. 125. Кадрирующая рамка



Рис. 126. Контрольная диафрагма

начинает двоиться, то требуется соответствующая поправка резкости до исчезновения двоющихся линий.

Для контроля точности наводки на резкость в негативной рамке некоторых типов фотоувеличителей монтируется так называемое *щелевое устройство*, состоящее из двух небольших металлических деталей особой формы. При прохождении света через это устройство на экране увеличителя образуется сплошная светлая полоса при точной наводке (рис. 127, а) на резкость и разделенная пополам полоса при неточной наводке (рис. 127, б).

Выпускаются фотоувеличители с автоматической наводкой на резкость. Из них наибольшее распространение получили клиновые и лекальные системы. Фотоувеличители первого типа имеют укрепленный на штанге металлический клин 22 (см. рис. 123) строго определенной формы. На кронштейне увеличителя закреплен специальный рычаг, один конец которого соединен с объективом, а другой упирается в ребро клина. При подъеме или опускании проектора фотоувеличителя рычаг, скользя по ребру клина, отклоняется последним в той или иной степени и, перемещая объектив, обеспечивает постоянную резкость.

Фотоувеличители второго типа имеют лекало 1 (рис. 128) строго определенной формы, укрепленное на консоли, на качающихся тягах. При перемещении проектора вверх или вниз поворачивается лекало вместе с консольной подвеской; тогда упирающийся в лекало скользящий ролик 2 поднимает или опускает кронштейн 3 по направляющим 4. Это движение обеспечивает фокусировку объектива 5. Примером фотоувеличителя с клиновым автоматическим устройством являются увеличители «Беларусь-5» и УПА-4, с лекальным — «Нева-3М».

Перед печатью оптическую систему фотоувеличителя очи-

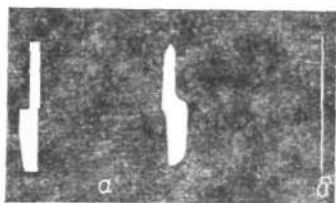


Рис. 127. Щелевое устройство:
а — неточная наводка; б — точная наводка

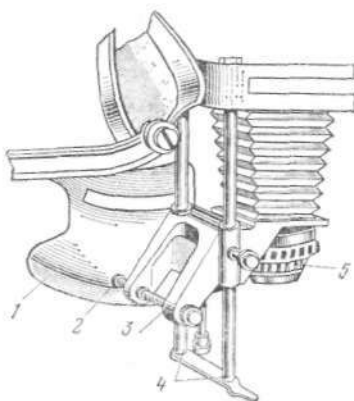


Рис. 128. Узел лекальной автоматической фокусировки объектива фотоувеличителя

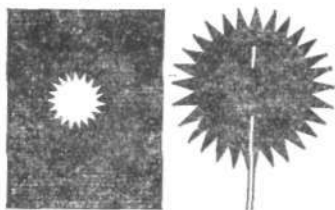


Рис. 129. Маски-оттенители для проекционной печати

После определенного времени экспонирования, например 3 с, маску передвигают еще на $\frac{1}{4}$ фотобумаги и опять дают время экспонирования 3 с. Фотобумагу экспонируют четыре раза и делают ступенчатой по плотности отпечаток с четырьмя полями. Суммарное время экспонирования на первом поле равняется 12, на втором 9, на третьем 6 и на четвертом 3 с. Из этих полей выбирают наиболее удачное по плотности. В дальнейшем с этим временем экспонирования печатают с данного негатива.

При печати часто возникает необходимость затенить отдельные участки и обеспечить тем самым получение нормальных плотностей на снимке. Иногда оттенением добиваются выделения той или иной части изображения. Для этого при печати сначала дают общее время экспонирования, ориентируясь по наименьшему почернению негатива. Затем специальной маской частично перекрывают свет под объективом фотоувеличителя и дают дополнительную экспозицию на плотные участки проецируемого изображения. Маску изготовляют из куска картона или плотной бумаги в виде звездочки, прямоугольника с отверстием или иной формы в зависимости от особенности оттеняемого участка (рис. 129). Иногда свет перекрывают рукой. Для того чтобы избежать образования на отпечатке четких контуров маски, при печати ее плавно перемещают над листом фотобумаги.

При съемке под углом к основному объекту (например, при съемке высоких зданий с нижней точки) возникают перспективные искажения. Эти искажения могут быть исправлены при

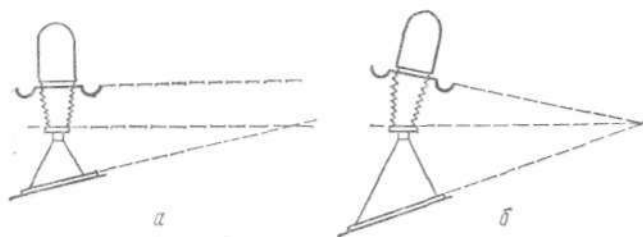


Рис. 130. Схемы трансформирования фотоизображения: а — наклоном кадрирующей рамки; б — с помощью специального механизма

проекционной печати. При незначительных искажениях изображение исправляют путем наклона кадрирующей рамки по отношению к экрану фотоувеличителя (рис. 130, а). Резкость по всей поверхности снимка получают диафрагмированием объектива фотоувеличителя. В специальных фотоувеличителях — фототрансформаторах имеется механизм, обеспечивающий сопряжение всех участков негатива с соответствующими участками проецируемого изображения. При этом плоскости негатива и изображения и главная плоскость объектива пересекаются в одной точке (рис. 130, б), что обеспечивает необходимую резкость всех участков изображения без диафрагмирования.

§ 4. ОБРАБОТКА ФОТОБУМАГ

Обработка фотобумаг включает: проявление, промежуточную промывку, фиксирование, окончательную промывку, сушку или глянцеование. Фотобумаги обрабатывают при желтом, оранжевом, красном и желто-зеленом освещении в зависимости от спектральной чувствительности позитивного материала.

Режим и последовательность обработки черно-белой фотобумаги

	Продолжительность, мин	Температура, °C
Проявление	2	20±0,5
Остаивающаяся ванна	0,2	20±2
Фиксирование	10—15	20±2
Промывка	20—30	15±5
Сушка	До полного высыхания	Не более 40

При массовой обработке фотобумаг в кювете проявитель разбавляют равным количеством воды. При этом скорость проявления уменьшается, что дает возможность визуально наблюдать за ходом процесса проявления. Проявитель рекомендуется применять через сутки после приготовления. Для предупреждения вуали, которая может образоваться на отпечатках при использовании свежеприготовленного проявителя, в него иногда перед работой добавляют небольшое количество бывшего в работе проявляющего раствора. Для того чтобы проявление было равномерным, экспонированные листы фотобумаги надо быстро погружать в проявитель. В течение всего процесса проявления кювету необходимо медленно покачивать. При обработке нескольких листов экспонированной фотобумаги следует в течение всего процесса перекладывать их снизу вверх. Листы крупного формата перед погружением в проявитель размачивают в воде для предупреждения неравномерного проявления.

При проявлении фотобумаги с визуальным контролем вынутые из проявителя отпечатки нельзя длительное время держать

на воздухе, так как слой проявителя, оставшегося на них, быстро окисляется и отпечатки желтеют. При проявлении бромосеребряных, хлоросеребряных и хлоробромосеребряных фотобумаг в стандартном проявителе получается нейтральное по тону черно-белое изображение. Наблюдая за процессом образования изображения при лабораторном неактиничном красном и оранжевом освещении, можно заметить, что плотности при этом освещении кажутся более высокими, чем при дневном свете. Это надо учитывать и обрабатывать отпечатки до кажущегося небольшого перепроявления или при желто-зеленом освещении.

Проявители для обработки фотобумаг, г/л

	Нормально работаю- щий (К. В. Чи- бисова)	Мягко работаю- щий (А. Видер- мана)	Контрастно работающий (для бромосере- бряных и хлоро- бромосеребряных)
Метол	0,5	—	—
Сульфит натрия безвод- ный	13	60	120
Гидрохинон	2,5	10	28
Фенидон	—	1	1
Сода кальцинированная	10	60	120
Калий бромистый кри- сталлический	0,5	0,5	9
Бензотриазол	—	0,6	1

После проявления отпечатки ополаскивают в течение нескольких секунд в воде, обрабатывают в слабокислом останавливающем растворе и переносят в фиксаж. В процессе фиксирования раствор должен полностью покрывать их. Отпечатки периодически следует перекладывать, чтобы фиксирование их было равномерным.

Для того чтобы изображение сохранялось длительное время, отпечатки промывают в специальных устройствах: ваннах с непроточной (периодически сменяемой) и проточной водой или душевым устройством. Очень удобно промывочное каскадное устройство (рис. 131, а) или специальное ротационное устройство, представляющее собой круглый бак, снабженный сифонной трубкой и специальной закругляющейся трубой (рис. 131, б). Труба обеспечивает круговое движение воды, которая подается через резиновый шланг из водопровода. Отпечатки в баке находятся все время в движении, хорошо промываются и не слипаются. Для промывки также используют *ротаторное устройство* (рис. 131, в), состоящее из бака с погруженным в него барабаном, имеющим небольшие круглые отверстия и крышку, через которую внутрь барабана закладывают отпечатки. Вода, поступающая в бак, свободно попадает и внутрь барабана, вращающегося с помощью электродвигателя. В некоторых ротаторных промывочных устройствах барабан вращается под действием подаваемой в них воды.

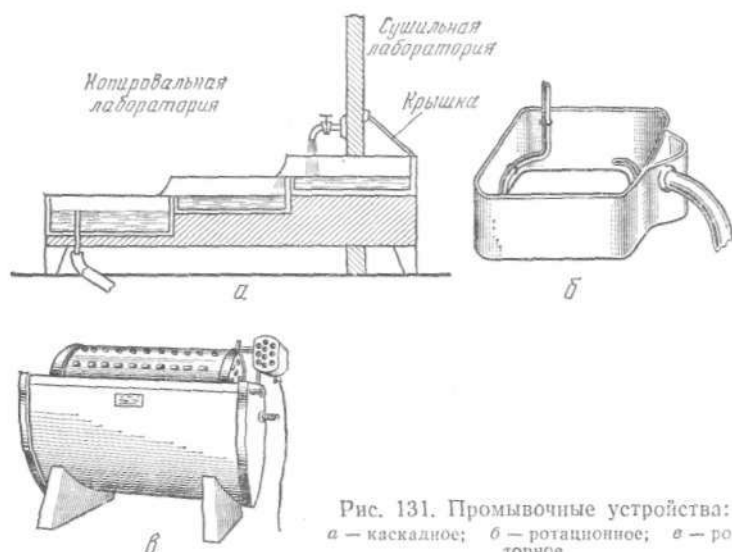


Рис. 131. Промывочные устройства:
а — каскадное; б — ротационное; в — ротационное

Для сушки фотобумаг используются стеллажи, представляющие собой стойку, в которую вставляют друг над другом рамы с натянутой на них марлей или капроновыми нитями, а также автоматические приборы сушки отпечатков. Наиболее эффективным является способ сушки и глянцеваания отпечатков на сушильно-глянцевальных приборах. Один из таких приборов АПСО-5М (автоматический прибор сушки отпечатков) представляет собой установку с вращающимся полированным металлическим барабаном 6 (рис. 132), нагреваемым изнутри специальными устройствами 4. Накладываемые на транспортирующее полотно 2 мокрые отпечатки размером до 50×60 см при вращении барабана прижимаются валиком 3 вместе с полотном к барабану. Пройдя путь по кривой от валика 3 до валика 7, отпечатки успевают высохнуть и в конце пути сами отделяются от барабана и подаются на лоток 5, а лента полотна идет дальше через валики 8, 9, 10 и 1. При сушке матовых фотобумаг отпечатки кладут на полотно фотослоем вниз.

Пульт управления находится на передней панели. Барабан прибора сделан из металла и имеет зеркальную поверхность. Внутри барабана прибора АПСО-5М имеются нихромовые спирали, обогревающие его. Нагреватель прибора АПСО-7 изготовлен в виде цилиндра из стеклопластика с токопроводящим слоем. Этот цилиндр плотно прилегает к внутренним стенкам барабана, что обеспечивает высокую эффективность нагревания. Вращение барабана и

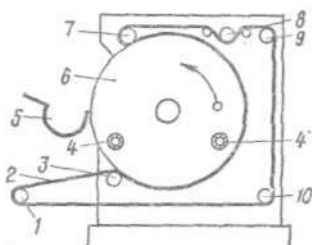


Рис. 132. Схема автоматического прибора АПСО-5М глянцеваания (сушки) отпечатков

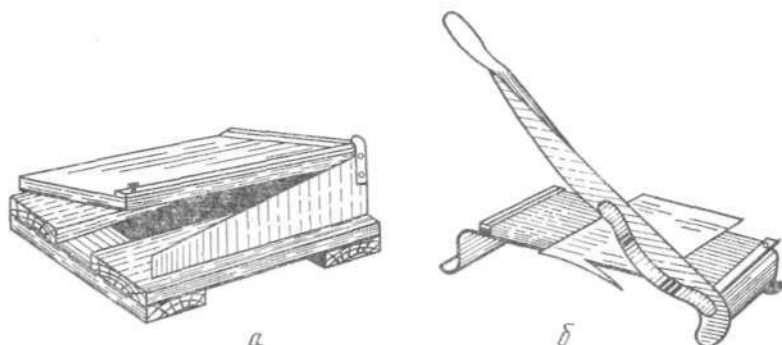


Рис. 133. Резаки:

а — с косым качающимся ножом; б — с опускающимся ножом

движение транспортирующего полотна обеспечиваются электродвигателем с редуктором.

Отпечатки обрезают специальными резаками. Резаками с косым качающимся ножом (рис. 133, а) обрезают крупноформатные отпечатки, резаками с опускающимся ножом (рис. 133, б) — отпечатки более мелкого формата. Резаки с опускающимся ножом могут иметь фигурный нож и давать извилистую линию обреза.

§ 5. ВИРИРОВАНИЕ ФОТООТПЕЧАТКОВ

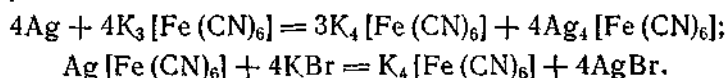
Вирирование заключается в окрашивании изображения в тот или иной цвет. Процесс вирирования может быть осуществлен двумя методами: прямым и косвенным. При прямом методе процесс окрашивания изображения происходит в результате одной химической реакции, при косвенном — изображение сначала отбеливается, т. е. серебро окисляется, а затем образовавшийся в ходе химического воздействия продукт окрашивается. При вирировании серебро изображения может быть превращено в какое-либо соединение (например, в сернистое серебро), замещено соединением другого металла или заменено красителем, придающим изображению на отпечатке какой-то цвет. В результате вирирования изображение ослабляется или усиливается. При вирировании можно получать различные цвета изображения в зависимости от выбранного вирирующего раствора:

Основное вещество вирирующего раствора	Цвет получаемого изображения
Сернистый натр	Теплый черно-коричневый
Сернистая медь	Красно-кирпичный, красно-фиолетовый
Селеновые соединения	Красно-коричневый

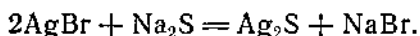
Основное вещество вирующего раствора	Цвет получаемого изображения
Хлорное золото	От коричневого до пурпурно-синего
Соли окисного железа	Синий
Соединения ванадия	От желтого до оранжевого, зеленый
Органические красители	В зависимости от вида красителя

Примечание. Вирующий раствор с сернистым натром имеет неприятный запах, работать с ним необходимо под вытяжкой.

Химическая сущность процесса вирурования в *коричневый цвет* состоит в следующем. При отбеливании изображения раствором железосинеродистого калия и бромистого калия образуется сначала железистосинеродистое серебро, а затем бромистое серебро:

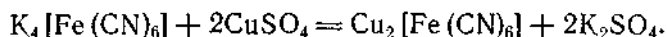


Затем при окрашивании образуется сернистое серебро, дающее изображению коричневый тон:

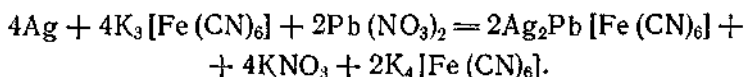


Вирующий раствор превращает обесцвеченное изображение на отпечатке в видимое, имеющее коричневый цвет. Неполное отбеливание дает изображению при вируровании темно-коричневый цвет, а полное — светло-коричневый. По окончании вирурования отпечатки еще раз промывают в проточной воде и сушат.

Химическая сущность процесса вирурования в *красный цвет* заключается в следующем. Сначала происходит химическое взаимодействие железосинеродистого калия с серебром фотоизображения и образование железистосинеродистого серебра. Непосредственно вслед за этим железистосинеродистый калий, взаимодействуя с сернокислой медью, образует железистосинеродистую медь, окрашивающую изображение, и сернокислый калий:



В химическом отношении процесс вирурования в *зеленый цвет* солями свинца состоит в следующем. В отбеливающем растворе образуется железистосинеродистая свинцово-серебряная соль:



Окрашивание изображения в зеленый цвет происходит в результате смешения хромовокислого свинца (желтого цвета) и

берлинской лазури (голубого цвета), образующихся при химическом взаимодействии железистосинеродистой свинцово-серебряной соли с веществами, входящими в состав отбеливающего и вирующего растворов.

Вирировать изображение в *синий цвет* можно как прямым, так и косвенным способом. При прямом способе используют недопечатанные отпечатки, так как вирурование на много усиливает изображение. Хорошо промытый отпечаток обрабатывают 3—5 мин в вирующем растворе. По окончании процесса вирурованные отпечатки промывают и сушат.

Химическая сущность этого процесса заключается в следующем. Сначала при отбеливании изображения в фотослое образуется железистосинеродистое серебро, которое затем вступает в химическое взаимодействие с хлорным железом. В результате процесса образуется берлинская лазурь, придающая изображению синий оттенок:



В связи с тем что берлинская лазурь быстро обесцвечивается под действием прямого солнечного света, снимки рекомендуются экспонировать при неярком освещении. Их также нельзя наклеивать щелочными клеями.

Вирирование анилиновыми красителями основано на способности основных органических анилиновых красителей вступать во взаимодействие с соединениями серебра в фотослое и окрашивать их. Для вирурования можно использовать большое число этих красителей, в том числе пиронин, фуксин и роданин (красный цвет), метиловый голубой и метилвиолет (синий цвет), малахитовый зеленый и метиленовый зеленый (зеленый цвет) и др. Имея набор из желтого, голубого и пурпурного красителей, можно получить разнообразные цвета и оттенки путем смешения их в различном соотношении. При вируровании анилиновыми красителями отпечаток обрабатывают в течение 1 мин в протравливающем растворе следующего состава:

Лимоннокислый калий, г	15
Медный купорос, г	10
Роданистый аммоний, г	4
Уксусная кислота (80 %-ный раствор), мл	7
Вода, мл	250

После протравливания и промывки на изображение наносят тампоном вирующий раствор красителя:

Анилиновая краска, г	1
Уксусная кислота (80 %-ный раствор), мл	1
Вода, мл	200

Отпечаток с нанесенным на него вирующим раствором выдерживают 5—10 мин в зависимости от интенсивности окрашивания изображения. После вирурования отпечаток ополаскивают в воде и переносят в 3 %-ный раствор соляной кислоты для осветления. Отпечаток после полного осветления светлых участков окончательно промывают и затем сушат. Анилиновый краситель должен окрашивать только те участки, где имеется серебряное фотоизображение, и полностью вымываться на участках, где этого изображения нет.

ГЛАВА IX

ЦВЕТНАЯ ФОТОГРАФИЯ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цветная фотография основана на принципе субтрактивного (вычитательного) цветовоспроизведения с помощью многослойных цветофотографических материалов. Этот способ не требует специальной съемочной фотоаппаратуры и сложного лабораторного оборудования. Процессы съемки и химико-фотографической обработки цветных фотоматериалов почти не отличаются от процесса съемки и обработки черно-белых фотоматериалов.

Цветной негативный процесс состоит из съемки на цветной фотокиноматериал, ее химико-фотографической обработки, сушки и контроля негатива. Цветное негативное изображение образовано красителями, дополнительными по окраске к цвету деталей объекта съемки. Цветной негатив является исходным фотоматериалом для тиражирования цветных отпечатков.

Цветной позитивный процесс состоит из печати негатива на позитивный фотокиноматериал, его химико-фотографической обработки, сушки и хранения, контроля позитива. Это вторая стадия двухстадийного цветного негативно-позитивного процесса в фотографии. Цветное позитивное изображение образовано красителями (желтым, пурпурным, голубым). Оптические плотности позитива должны соответствовать яркостям фотографируемого объекта.

При освещении предметов возникают три явления: отражение, поглощение и пропускание света. В случае, когда все лучи белого света в разной степени отражаются от предмета, он не имеет окраски, т. е. имеет белый или серый цвет. При избирательном поглощении световых лучей определенных длин волн возникает окраска тела в цвет, отражаемый его поверхностью. Так, зеленая поверхность отражает зеленые лучи, а все остальные поглощает. Цветные прозрачные предметы пропускают свет

определенных волн и приобретают цвет пропущенных ими лучей.

Цветовое зрение. Любой цвет может быть получен смешением в определенных пропорциях излучений основных цветов спектра. Цвета, к которым чувствительны рецепторы глаза, принято называть *основными*, или *первичными*. Восприятие красного цвета возникает при воздействии на цветоощущающие элементы глаза смеси лучей с длиной волны от 600 до 700 нм, зеленого — от 500 до 600 нм и синего — от 400 до 500 нм. Восприятие красного, зеленого и синего цветов возникает также под воздействием элементарных излучений с длинами волн соответственно 650, 550 и 450 нм.

К основным цветам имеются *дополнительные*: к красному — голубой, зеленому — пурпурный, синему — желтый. Если любой основной цвет сложить с дополнительным к нему цветом, то получится белый цвет. При смешении световых потоков трех основных цветов в равных пропорциях образуется белый цвет, а при смешении трех красочных сред дополнительных цветов — черный или серый.

Три признака цвета. Все встречающиеся в природе цвета принято делить на хроматические (цветные) и ахроматические (бесцветные, от белого до черного). Основными характеристиками хроматического цвета являются цветовой тон, насыщенность и светлота. *Цветовой тон* определяет качественное отличие одного цвета от другого. К цветам различных цветовых тонов относятся синий, зеленый, красный и все другие цвета спектра. *Насыщенность* цвета характеризует степень его отличия от серого. Насыщенность цветов в спектре излучения принимается за 100 %. Если насыщенность равна 30 %, то это значит, что в состав цвета входит 30 % чистого спектрального и 70 % белого цвета. *Светлота* характеризует относительную яркость цвета. Величина ее зависит от коэффициента отражения света поверхностью тела. По светлоте можно сравнивать различные цвета, как хроматические, так и ахроматические. К любому хроматическому цвету можно подобрать ахроматический цвет такой же светлоты. Ахроматические цвета различаются только по светлоте.

Аддитивный и субтрактивный синтез цвета. При смешении двух или более окрашенных световых потоков образуется новый световой поток, имеющий иную цветовую окраску.

Образование цветов путем сложения излучений называется *аддитивным синтезом цвета*. Проецируемые на экран тремя проекторами красный, зеленый и синий световые потоки образуют на участках взаимного перекрытия новые цвета (рис. 134).

Субтрактивный синтез цветов основан на вычитании из белого или иного сложного светового потока тех или иных цветов. Иначе говоря, субтрактивный синтез происходит при сложении физических (красочных) сред. Если в проектор установить три

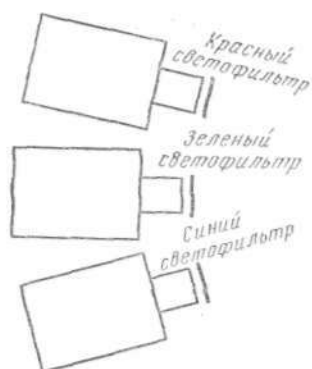


Рис. 134. Аддитивный синтез цвета

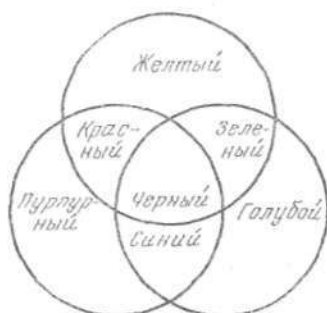
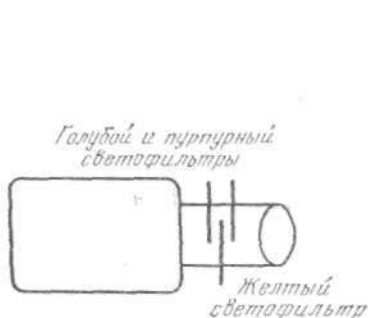


Рис. 135. Субтрактивный синтез цвета

круглых светофильтра (желтый, пурпурный и голубой), то на участках их взаимного перекрытия образуются новые цвета (рис. 135). Например, при сложении желтого и голубого светофильтров образуется зеленый цвет. Это происходит вследствие того, что желтый светофильтр вычитает (задерживает) из белого светового потока синие лучи и пропускает красные и зеленые. В свою очередь голубой светофильтр вычитает из этих двух цветов красные и пропускает только зеленые.

Образование цветов иллюстрируется с помощью так называемого цветового треугольника (рис. 136). Углы такого треугольника обозначают тремя основными, а стороны — тремя дополнительными цветами. По цветовому треугольнику можно проследить, как при сложении излучений двух основных цветов (два угла тре-



Рис. 136. Цветовой треугольник

угольника) получается дополнительный цвет (стороны между этими углами): синий и красный — пурпурный, зеленый и красный — желтый, синий и зеленый — голубой. В результате же сложения красочных сред двух дополнительных цветов (две стороны треугольника) получается основной цвет (угол, образованный этими сторонами): желтый и пурпурный — красный, голубой и желтый — зеленый, пурпурный и голубой — синий. При уменьшении или увеличении плотности светофильтров получают различные оттенки основных цветов или серый цвет большей или меньшей светлоты. С помощью треугольника цветов можно увидеть, как образуются цвета при вычитании: желтый минус красный — зеленый и т. д.

Субтрактивный способ образования цветов положен в основу современной цветной фотографии на многослойных цветофотографических материалах. Образование цветного изображения этим способом происходит по правилам субтрактивного синтеза цвета при прохождении белого света через частично окрашенные изображения фотоматериала.

§ 2. СТРОЕНИЕ ЦВЕТНЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ. СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Цветное изображение может быть получено негативно-позитивным и обрабатываемым способами. Строение цветных негативных, позитивных и обрабатываемых фотоматериалов в принципе не имеет существенных различий. Они состоят из трех эмульсионных слоев, обладающих различной спектральной чувствительностью и нанесенных на подложку или бумагу. В состав эмульсионных слоев кроме светочувствительных компонентов и сенсibilизаторов вводятся специальные краскообразующие компоненты — цветные или цветного проявления.

Верхний слой цветного фотоматериала не сенсibilизирован и чувствителен к трети спектра с длиной волны до 500 нм (синяя зона спектра). В слой вводится желтообразующий цветной компонент, дающий в случае его проявления цветоделенное желтое изображение.

Средний слой сенсibilизирован к длинам волн 500—600 нм (зеленая зона спектра) и содержит пурпурнообразующий цветной компонент, дающий в случае проявления фотослоя цветоделенное пурпурное изображение.

Нижний слой чувствителен к трети спектра в диапазоне 600—700 нм (красная зона спектра). Он содержит в своем составе голубой образующий цветной компонент и дает в случае проявления слоя цветоделенное голубое изображение. Названное распределение слоев, именуемое естественным порядком, у некоторых фотоматериалов бывает изменено для улучшения

резкости и цветопередачи (например, у фотобумаги «Фотоцвет-6»).

Цветные позитивные фотоматериалы имеют более узкие зоны сенсibilизации фотослоев по сравнению с негативными. Под верхним эмульсионным слоем пленки располагается желтый фильтровый слой, содержащий коллоидное серебро. Фильтровый слой задерживает лучи синей зоны спектра и тем самым предотвращает их воздействие на средний и нижний эмульсионные слои.

Благодаря различной спектральной чувствительности слоев фотоматериала становится возможным осуществить цветоделение при съемке (рис. 137). Толщина вместе взятых эмульсионных слоев составляет 20—25 мкм, фильтрового слоя — 2—3 мкм. Нижний эмульсионный слой сцепляется с подложкой желатиновым коллоидно-серебряным подслоем, выполняющим также функции противоореального слоя. Синяя или черная (серая) окраска этого подслоя обесцвечивается в процессе химико-фотографической обработки фотоматериала.

На рис. 138, а, б обозначены: 1 — синечувствительный слой; 2 — желтый фильтровый слой; 3 — зеленочувствительный слой; 4 — красночувствительный слой; 5 — противоореальный коллоидно-серебряный подслой; б — подложка; 7 — защитный желатиновый слой; 8 — промежуточные желатиновые соли и 9 — баритовый подслой. У фотобумаги «Фотоцвет-5» расположение синечувствительного и красночувствительного слоев взаимно изменено.

Схема получения цветного изображения по негативно-позитивному процессу. Негативный и позитивный процессы складываются из шести основных операций (рис. 139):

1 — съемка. В результате экспонирования цветного негативного материала в его эмульсионных слоях с соответствием с их спектральной чувствительностью образуются частичные цветоделенные скрытые изображения;

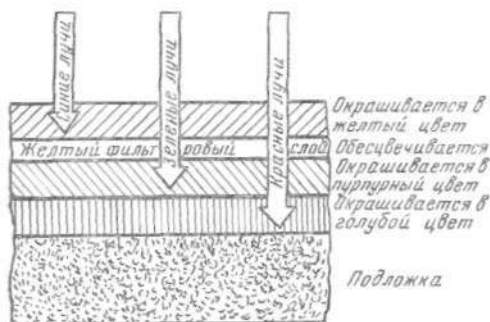


Рис. 137. Цветоделение в цветной негативной пленке

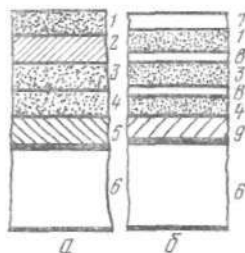


Рис. 138. Схемы строения цветных негативной и обращаемой фотопленок (а) и фотобумаги «Фотоцвет-4» (б)

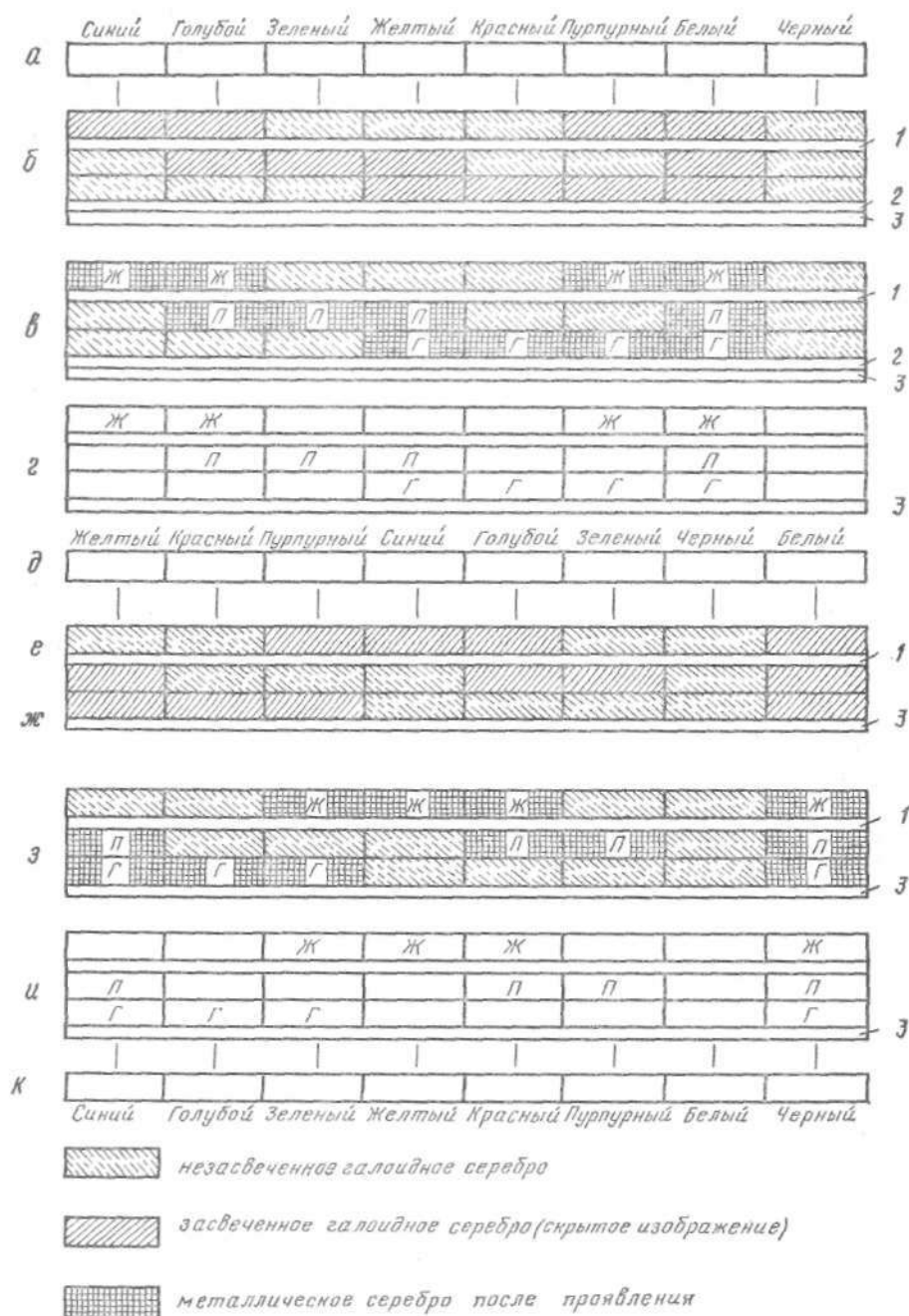


Рис. 139. Схема получения цветного позитива с использованием негативно-позитивного процесса.

2 — цветное проявление. На экспонированных участках каждого слоя образуется металлическое серебро и соответствующий слою краситель. Следующая сразу после цветного проявления операция допроявления обеспечивает нейтрализацию цветного проявляющего вещества, оставшегося в фотослоях после цветного проявления, и предупреждает его вредное влияние при дальнейших операциях, а также способствует хорошей воспроизводимости результатов проявления;

3 — отбеливание и фиксирование. При отбеливании все металлическое серебро изображения, фильтрового слоя и противореального подслоя переводится в железистосинеродистое серебро, удаляемое при фиксировании и промывке вместе с оставшимися галогенидами серебра из фотослоев. Полученный негатив воспроизводит объект съемки в обратных (дополнительных) цветах;

4 — печать (экспонирование) с негатива на цветную фотобумагу и получение цветоделенного скрытого изображения;

5 — цветное проявление;

6 — отбеливание и фиксирование.

Между отдельными стадиями обработки следуют операции промывки, являющиеся обязательными. Цветное изображение, полученное на фотобумаге или позитивной пленке, воспроизводит объект съемки в натуральных цветах.

Схема получения цветного изображения по методу обращения. Этот метод позволяет получить позитивное изображение на том же материале, на котором производилась съемка. Эмульсионные слои цветных обрабатываемых фотоматериалов расположены в естественном порядке, т. е. верхний слой чувствителен к синей зоне спектра и содержит желтообразующий компонент, средний слой (зеленочувствительный) содержит пурпурнообразующий компонент и нижний слой (красночувствительный) содержит голубой образующий компонент. Схема получения цветного изображения на обрабатываемой пленке приведена на рис. 140. Процесс состоит из пяти операций:

1 — съемка. В результате экспонирования в эмульсионных слоях цветного обрабатываемого фотоматериала в соответствии с их спектральной чувствительностью образуются скрытые цветоделенные изображения;

2 — черно-белое проявление. В экспонированных участках каждого слоя образуется черно-белое серебряное негативное изображение. Не подвергшиеся действию света кристаллы

а — объект съемки; *б* — скрытое негативное изображение; *в* — цветной негатив (после цветного проявления); *г* — готовый цветной негатив (после отбеливания и фиксирования); *д* — цветной негатив (при рассмотрении на просвет цвета на негативе дополнительные к цветам объектива); *е* — печать с негатива на цветную (многослойную) фотобумагу; *ж* — скрытое позитивное изображение; *з* — цветной позитив (после цветного проявления); *и* — готовый цветной позитив (после отбеливания и фиксирования); *к* — цветное изображение объекта при рассмотрении отпечатка; *1* — желтый фильтровый слой; *2* — серый противореальный слой; *3* — основа пленки

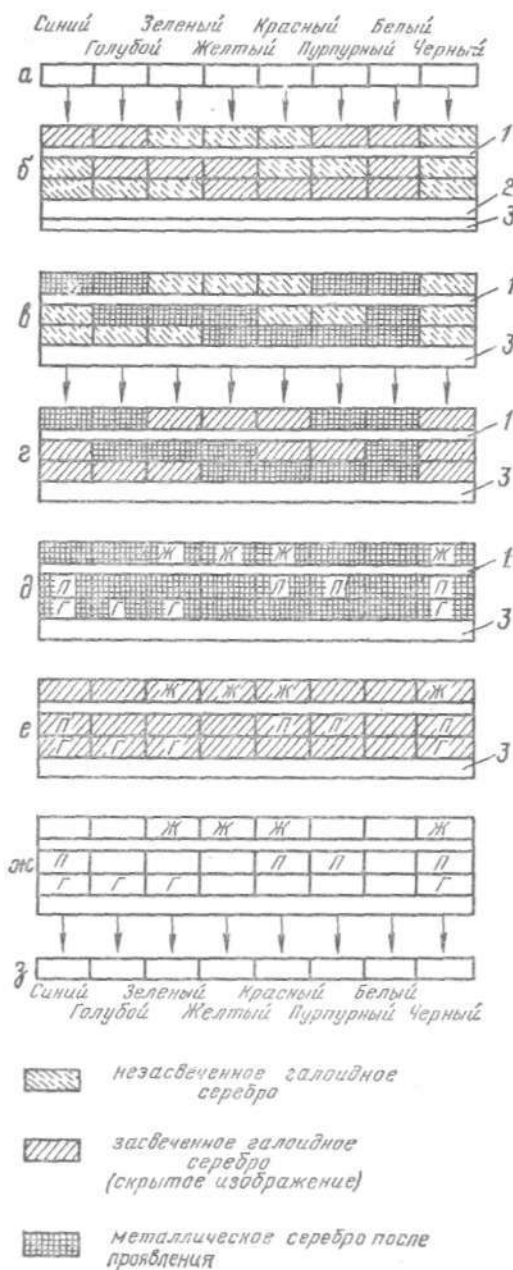


Рис. 140. Схема получения цветного изображения на обрабатываемой пленке:

а — объект съемки; б — скрытое изображение после экспонирования; в — пленка после черно-белого проявления; г — пленка после заливки (второго экспонирования); д — пленка после цветного проявления; е — пленка после отбеливания; ж — пленка после фиксирования (готовый цветной позитив); з — цветное изображение объекта; 1 — желтый фильтровый слой; 2 — серый противореальный слой; 3 — основа пленки

галогенида серебра в черно-белом проявителе остаются без изменения;

3 — засветка, или вторая экспозиция. При засветке образуется скрытое изображение на участках, не подвергшихся черно-белому проявлению и являющихся по сути позитивом, т. е. обратным по отношению к негативу изображением;

4 — цветное проявление. На экспонированных во время засветки участках каждого непроявленного в черно-белом проявителе слоя образуется металлическое серебро и соответствующий слою краситель;

5 — отбеливание. Все металлическое серебро изображения, фильтрового слоя и противоореольного подслоя переводится в галогенид серебра, удаляемый из них в растворе фиксажа и при окончательной промывке.

В процессе обращения, как и в негативно-позитивном процессе, между отдельными стадиями обработки следуют строго обязательные операции промывки. Полученное изображение воспроизводит объект съемки в его натуральных цветах.

§ 3. СЪЕМКА НА ЦВЕТНЫЕ ФОТОМАТЕРИАЛЫ

Фотографировать на многослойные цветные фотоматериалы можно любым современным фотоаппаратом. Общий световой поток при попадании на многослойный цветной фотоматериал делится из-за различной сенсибилизации слоев на три частичных оптических изображения (синее, зеленое и красное), и каждое из них образует в одном из слоев скрытое изображение (рис. 141). Процесс деления общего светового потока на три частичных изображения называется *цветоделением*. Оно обусловлено различной спектральной чувствительностью слоев и происходит в момент съемки (или печати). Цветные съемочные светофильтры при цветном фотографировании не применяют, за исключением специальных конверсионных светофильтров, приводящих при необходимости спектральный состав пропускаемого объективом света в соответствие с требованиями цветной фотопленки. Важное значение при цветной съемке имеет спектральный состав съемочного освещения, его контрастность, соответствие фотографической широты съемочного фотоматериала широте (интервалу яркостей) объекта съемки, точность определения экспозиции.

Для цветной съемки выпускаются многослойные негативные пленки двух типов: ЦНД — для съемки при дневном освещении с цветовой температурой (балансовой нормой) 5500 К или при освещении источниками искусственного света с составом излучения, близким дневному свету; ЦНЛ — для съемки при свете ламп накаливания с цветовой температурой 3200 К.

Удовлетворительная цветопередача при съемке на цветные негативные и обращаемые фотоматериалы может быть достигнута

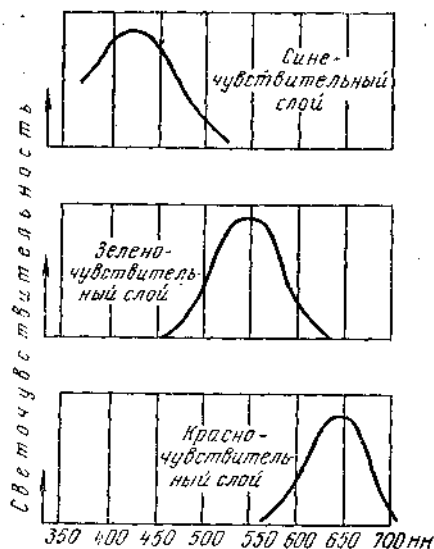


Рис. 141. Кривые спектральной чувствительности цветной негативной пленки

ные поверхности, отражая свет, могут образовать на объекте съемки цветные рефлекс. Например, рефлекс от цветного платья дают на лице портретируемого нежелательный цветовой оттенок. Если по каким-либо причинам при съемке не удалось предупредить образование на объекте рефлекса, то при печати в кадр вводят часть рефлектирующей поверхности, что несколько смягчает этот недостаток. В некоторых случаях с помощью рефлексов получают интересные художественные эффекты. Для цветной съемки применяют как общее, так и направленное освещение. Наличие цвета дает возможность при цветном фотографировании отказаться от некоторых видов направленного освещения, уменьшить его контрастность. Целесообразность снижения контрастности освещения при цветной съемке связана также и с малой фотографической широтой цветофотографических материалов. При очень большой широте яркостей объекта съемки возникает опасность искажения цвета в светах и тенях изображения, так как в этих местах изображение попадает в область недодержек и передержек. Освещение считается нормальным по контрастности, если освещенность теневых участков объекта съемки не ниже 40 % освещенности высвеченных участков, т. е. если контрастность освещения не выше 1:2,5. Несмотря на такой небольшой допуск, при цветной съемке может быть построен не только тональный, но и светотеневой рисунок.

только при условии соответствия спектрального состава съемочного освещения применяемому фотоматериалу.

Это требование связано с тем, что используемые для съемки источники света по-разному распределяют световую энергию при излучении света. При съемках не рекомендуют применять смешанное освещение (лампы накаливания и лампы дневного света). Исключение из этого правила составляют случаи, когда требуется получить какое-либо специальное эффектное цветное освещение. Например, для подчеркивания цвета объекта съемки или изменения его цвета пользуются цветным (окрашенным) светом. Цвет-

Одним из условий правильного воспроизведения объекта при цветной съемке является определение нормальных экспозиций, даваемых тремя слоям цветного фотоматериала, лежащих в пределах прямолинейных участков характеристических кривых. В связи с тем что цветные фотоматериалы имеют очень малую фотографическую широту и использование области недодержек и передержек приводит к значительным искажениям цветопередачи, при цветной съемке требуется очень точное определение времени экспонирования (по сюжетно важной части объекта съемки). Оптимальной экспозицией является такое количество света, даваемого на фотослой, которое обеспечило бы получение на цветном негативе средней плотности (например, плотности лица в портрете) $D = 0,85-1$. Из всех известных способов наиболее точным и приемлемым для цветной съемки считается способ определения экспозиции по результатам замера освещенности или яркости сюжетно важной части объекта с помощью фотоэлектрических экспонометров или точечного яркомера.

Цветные фото пленки. Для общefотграфических целей изготавливают цветные фото пленки следующих марок: «Фото ЦНД-32» — негативная маскированная для съемок при дневном освещении; ДС-5М — негативная маскированная для съемок при дневном освещении; «Фото ЦНЛ-32», «Фото ЦНЛ-65» — негативные маскированные для съемок при освещении лампами накаливания; ЦО-22 — обрабатываемые для съемок при дневном освещении; ЦО-32Д, ЦО-90Л — обрабатываемые для съемок при освещении лампами накаливания.

Основные характеристики цветных негативных фото пленок

	«Фото ЦНД-32»	«Фото ЦНЛ-32»	«Фото ЦНЛ-65»	ДС-5М
Светочувствительность	32	32	65	32
Рекомендуемый коэффициент контрастности среднего и нижнего слоев	$0,7 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$	$0,65 \pm 0,05$
Общая фотографическая широта, не менее	0,9	0,9	1,5	0,9
Отклонение от баланса светочувствительности, не более	2,5	2,5	2,5	2,5
Отклонение от баланса контрастности, не более	0,1	0,1	0,1	0,1
Разрешающая способность для белого света, линий на 1 мм, не более	58	58	63	58

Гарантийный срок годности цветных негативных маскированных пленок — 9 мес, цветных негативных немаскированных и обрабатываемых пленок — 1 год. В течение гарантийного срока допускается снижение общей светочувствительности цветных негативных пленок не более чем на 50 %; цветных обрабатываемых

фотопленок не более чем на 40 %. При этом должны быть обеспечены установленные условия хранения этих фотоматериалов.

Основные характеристики цветных обрабатываемых фотопленок

	ЦО-22	ЦО-32Д	ЦО-90Л
Светочувствительность, не менее	22	32	90
Отклонение от баланса светочувствительности, не более	1,8	1,6	1,6
Коэффициент контрастности	1,8—2,2	1,8—2,2	1,8—2,2
Отклонение от баланса контрастности, не более	0,3	0,3	0,3
Полезный интервал экспозиций, определяемый по участку характеристической кривой между плотностями 0,3 и 2,1, лк·с, не менее	—	1,2	1,2
Максимальная оптическая плотность каждого слоя, не менее	2,2	2,2	2,2
Минимальная оптическая плотность каждого слоя, не более	0,25	0,25	0,25
Разрешающая способность, линий на 1 мм, не менее	70	53	53

Цветные фотобумаги. Основной ассортимент включает три марки цветных фотобумаг: «Фотоцвет-2», «Фотоцвет-4», «Фотоцвет-6». Цветные фотобумаги изготовляют следующих видов: по плотности (массе) основы — картон; по структуре поверхности — гладкая и тисненая; по характеру поверхности — глянцевая; по градиционным группам (полезному интервалу экспозиций) — нормальная и контрастная. Форматные фотобумаги имеют размер от 6×9 до 50×60 см, рулонные — ширину 90 и 100 см и длину 50 и 100 м.

Фотобумагу «Фотоцвет-2» применяют для контактной и проекционной фотопечати с цветных немаскированных негативов, «Фотоцвет-4» и «Фотоцвет-6» — для контактной и проекционной печати с цветных негативов, содержащих маскированные компоненты. Выпускают также цветные обрабатываемые фотобумаги для печати с цветного диапозитива. Гарантийный срок хранения цветных фотобумаг — 12 мес со дня выпуска при соблюдении установленных правил хранения.

Основные характеристики цветных фотобумаг

		«Фотоцвет-2»		«Фотоцвет-4»	
		Нормальная	Контрастная	Нормальная	Контрастная
Общая светочувствительность		5—25	5—25	3—12	3—12

	«Фотоцвет-2»		«Фотоцвет-4»	
	Нормальная	Контрастная	Нормальная	Контрастная
Полезный интервал экспозиций, лк·с	1,3—1,6	1—1,2	1,3—1,6	1—1,2
Коэффициент контрастности для фотобумаги				
глянцевой	1,8—2,4	2,5—3,3	1,8—2,4	2,5—3,3
тисненой	1,6—2,1	2,2—3	1,6—2,1	2,2—3
Максимальная оптическая плотность для фотобумаги, не менее				
глянцевой	2	2	2	2
тисненой	1,8	1,8	1,8	1,8
Оптическая плотность вуали за светофильтром, не более				
красным	0,15	0,15	0,15	0,15
зеленым	0,2	0,2	0,15	0,15
синим	0,2	0,2	0,2	0,2

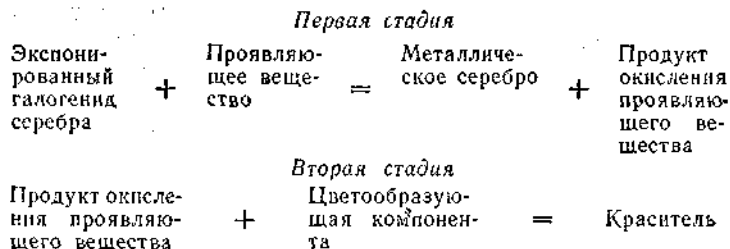
Основные характеристики фотобумаги «Фотоцвет-4»

Светочувствительность	45±15
Коэффициент контрастности зеленочувствительного слоя в интервале плотностей	
0,6—1,8	3—0,4
0,1—0,6	1,6±0,2
Максимальная оптическая плотность, не менее	2,2
Оптическая плотность вуали, не более	0,1

§ 4. ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ. ЦВЕТНЫЕ ПРОЯВИТЕЛИ

Цветное изображение на экспонированном многослойном цветофотографическом материале получают путем цветного проявления — сложного в физико-химическом отношении процесса. При цветном проявлении в каждом из трех светочувствительных слоев фотоматериала образуется черно-белое серебряное изображение, а также частичное изображение, состоящее из красителя (желтого, пурпурного или голубого). После отбеливания, т. е. окисления металлического серебра изображения в растворе железосинеродистого калия и последующего удаления всех соединений серебра из фотослоев в растворе фиксажа, в фотослоях остается только изображение из красителей, цвет которых будет обратным цветам объекта съемки.

Реакции образования металлического серебра и красителей протекают почти одновременно и могут быть выражены следующей схемой:



Состав цветного проявителя. Цветной проявитель в принципе содержит такие же составные части, как и черно-белый. В его состав входят: проявляющее, консервирующее, ускоряющее, противовуалирующее вещества, водоумягчающее вещество, предотвращающее отложение нерастворимых солей кальция и магния в фотослое, и растворитель (вода).

Проявляющие вещества, применяемые в цветных проявителях, относятся к производным парааминодиэтиланилинсульфат ЦПВ-1 и парааминоэтилоксиэтиланилинсульфат ЦПВ-2.

Консервирующие вещества — сульфит натрия и гидроксил-аминсульфат — вводят в проявитель для уменьшения скорости окисления цветного проявляющего вещества кислородом воздуха. Введение двух сохраняющих веществ в состав цветного проявителя объясняется тем, что они, находясь в растворе одновременно, даже в небольших количествах обеспечивают наилучшее предохранение проявляющего вещества от окисления. Но добавление в проявитель лишних количеств сульфита натрия нежелательно, так как он, нейтрализуя продукты окисления проявляющего вещества, образующиеся при проявлении, препятствует образованию красителей. Введение лишних количеств гидроксил-аминсульфата также не рекомендуется, так как этот компонент, обладая проявляющими свойствами и восстанавливая только металлическое серебро, вызовет малый выход красителя. Кроме того, сохраняющее действие гидроксил-аминсульфат оказывает только при наличии в растворе сульфита натрия. Наилучшей концентрацией сульфита натрия и гидроксил-аминсульфата в проявителе считается их количество, не превышающее 1—2 г/л.

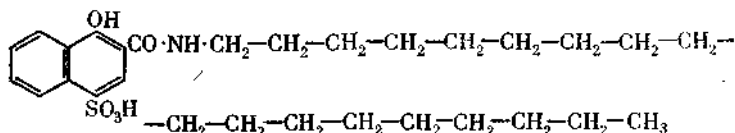
Ускоряющим веществом в цветном проявителе в основном служит углекислый калий (поташ). В некоторых случаях находит применение другая углекислая щелочь — углекислый натрий (сода). Углекислые щелочи вводят в количестве 50—80 г/л.

Противовуалирующие вещества вводят в проявитель для предупреждения образования в проявляемом фотоматериале цветной вуали. В качестве противовуалирующего вещества используют бромистый калий (0,5—2 г/л).

Водоумягчающие вещества предупреждают отложение в эмульсионном слое нерастворимых соединений кальция и магния. В качестве таких веществ обычно используют двуводную

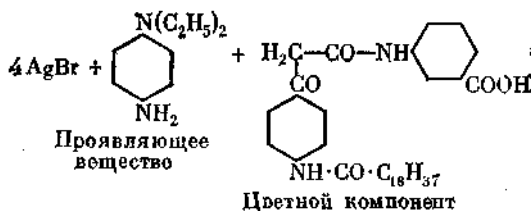
динатриевую соль этилендиамин- N, N, N', N'-тетрауксусной кислоты (двунариевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты — трилон Б) и рексаметафосфат натрия. Первое из этих веществ обладает более широким действием, что выражается его способностью предупреждать возникновение в проявляемых фотослоях некоторых видов вуали, появляющихся иногда на цветном изображении при наличии в воде или в реактивах следов меди. Кроме того, эти вещества, уменьшая концентрацию ионов меди, которые оказывают каталитическое действие при окислении сульфитсодержащего проявителя, предохраняют тем самым его от окисления кислородом воздуха.

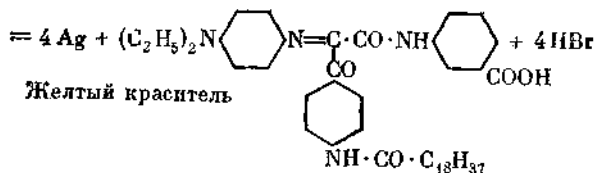
Химические процессы, происходящие при обработке цветных фотоматериалов. Эмульсионные слои цветных фотоматериалов отличаются от эмульсионных слоев черно-белых материалов тем, что в них кроме галогенидов серебра, сенсibilизаторов и других обычных добавок вводят особые вещества — компоненты цветного проявления, или цветные компоненты, имеющие различное химическое строение и дающие определенный цвет в зависимости от слоя, в который каждый компонент введен. Для исключения возможности перехода (диффузии) цветного компонента из слоя в слой его «утяжеляют», вводя в состав молекулы длинные углеводородные цепочки. Такие «утяжеленные» молекулы называются недиффундирующими компонентами. Примером может служить голубой нафтоловый компонент с углеводородным остатком



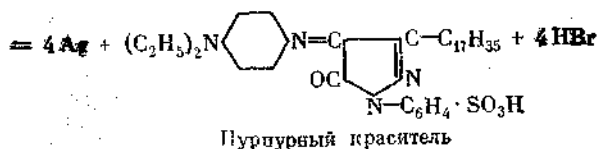
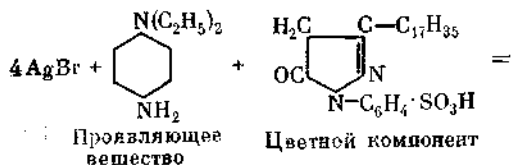
При написании структурных формул недиффундирующих компонентов углеводородная цепь изображается в виде одной группы (например, $\text{C}_{18}\text{H}_{37}$). Одним из недостатков цветных компонентов является малая стойкость даваемых ими красителей, что выражается в изменении цвета (выцветании изображения) как на свету, так и при хранении в темноте. Химические реакции при цветном проявлении можно выразить следующими уравнениями:

образование желтого красителя в верхнем слое

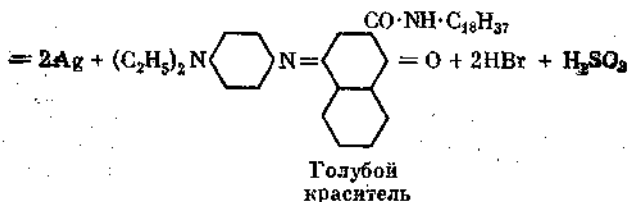
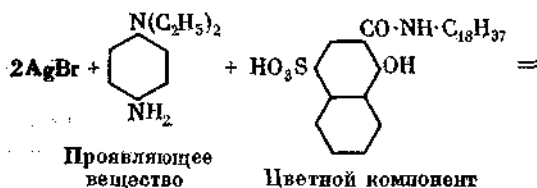




образование пурпурного красителя в среднем слое



образование голубого красителя в нижнем слое



После проявления негатива следует операция допроявления. Основным ее назначением является повышение воспроизводимости результатов проявления.

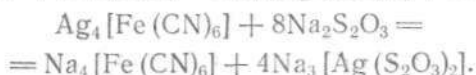
В позитивном процессе после проявления используют останавливающий слабокислый раствор, нейтрализующий действие щелочи и сразу же после погружения в него отпечатка останавливающий проявление. Останавливающий и допроявляющий растворы, имея слабую кислую реакцию, переводят проявляющее вещество из основания в соль, легкоудаляемую из фотослоя.

При отбеливании металлическое серебро черно-белого изоб-

ражения, а также серебро фильтрового слоя и противоореольного подслоя в зависимости от состава отбеливающего раствора переводится в железистосинеродистое или в галогенидное серебро — вещества, легкорастворимые в фиксажных растворах. Если отбеливающий раствор содержит в своем составе галогенидную соль, то протекают две следующие реакции:



Основное назначение галогенидных солей в отбеливающих растворах состоит в ускорении процесса отбеливания. Химический процесс растворения, или фиксирования, галогенидного серебра и железистосинеродистого серебра выражается двумя следующими уравнениями:



Процесс проявления цветных позитивных изображений и сущность химических реакций не отличаются от описанных. Образование в экспонированных фотослоях желтого, пурпурного и голубого красителей называют градационной стадией. Получаемые в процессе химико-фотографической обработки фотоматериала красители должны поглощать излучения только одной спектральной зоны. Синяя зона должна поглощаться желтым красителем, зеленая — пурпурным, красная — голубым (рис. 142). Поглощение излучений в строго определенной зоне называется *полезным*. Красители как негативных, так и позитивных фотоматериалов имеют значительные побочные поглощения, называемые вредными. В связи с тем что применяемые красители имеют побочные вредные поглощения, при печати образуются цветоделительные искажения, что выражается в малой насыщенности цветов, приближающихся к серому цвету. Искажения в передаче цветов возникают из-за недостатков в спектральной чувствительности цветных фотоматериалов и несовершенства градационных свойств цветного изображения.

В фотографии получили распространение фотопленки с маскированными цветными компонентами (маскированные пленки), улучшающими цветопередачу. Маской в таких пленках является плотное позитивное окрашенное изображение из маскированного компонента, не перешедшего в краситель при проявлении. Обработанная маскированная пленка имеет желто-оранжевую окраску по всей поверхности. При печати с маскированной пленки на цветной фотобумаге (например, «Фотоцвет-2») увеличивают значение корректирующих светофильтров, особенно голубого, чем обеспечивается совпадение цветовых балансов негатива и бумаги. При использовании фотобумаг «Фотоцвет-4» и «Фотоцвет-6» добавочные фильтры не требуются.

Качество цветовоспроизведения характеризуется цветовым охватом фотоматериала. Цветовой охват тем больше, чем

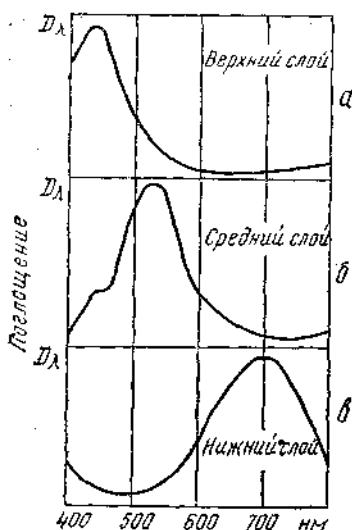


Рис. 142. Кривые спектрального поглощения красителей:

а — желтого; б — пурпурного; в — голубого

совершеннее красители и чем чище и насыщеннее могут быть получены синий, зеленый, и красный цвета при попарном сложении одноцветных изображений. Три частичных цветных изображения воспринимаются глазом как одно многоцветное, т. е. происходит синтез цветов. Одноцветные изображения — желтое, пурпурное и голубое — называются соответственно желтой, пурпурной и голубой составляющими, или желтым, пурпурным и голубым частичными изображениями.

Качество растворов оказывает большое влияние на цвет проявленного изображения. В лаборатории, где готовят растворы, кроме холодной водопроводной воды необходима горячая вода. Вода для составления растворов должна быть без примесей, которые оказывают вредное влияние на качество цветопередачи. Фиксирующие растворы следует готовить в отдельном помещении, потому что попадание даже ничтожного количества тиосульфата натрия в цвет-

ной проявитель приводит к образованию на изображении интенсивной пурпурной вуали.

Для приготовления растворов используют предварительно проверенные химические реактивы. Каждый последующий компонент вводят в раствор только после полного растворения предыдущего. Химические компоненты растворяют в порядке, указанном в рецепте, при температуре воды 25—30 °С. При составлении раствора сначала берут примерно $\frac{3}{4}$ общего объема воды и после полного растворения всех химических веществ доливают воду до необходимого объема. Приготовленные растворы должны быть профильтрованы. Проявляющий раствор рекомендуется готовить не менее чем за 12 ч до проявления.

Динатриевая соль этилендиамина- N,N,N',N' -тетрауксусной кислоты двукратная (трилон Б) в проявителе может быть заменена удвоенным количеством гексаметафосфата натрия. При отсутствии этих веществ для приготовления проявителя следует брать дистиллированную или, в крайнем случае, кипячую воду.

Проявляющие вещества и растворы проявителя надо хранить в плотно закрытой посуде. В связи с токсичностью цветных проявляющих веществ их следует взвешивать в вытяжном шкафу. При работе с цветными проявляющими веществами и их растворами необходимо строго соблюдать меры предосторожности. Руки должны быть обязательно защищены тонкими резиновыми хирургическими перчатками. Если сухое проявляющее вещество или его раствор попали на кожу, то надо немедленно удалить их ватой, обмыть место поражения 3—5 %-ным раствором уксусной кислоты, а затем теплой водой с мылом.

§ 5. ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ НЕГАТИВНЫХ ПЛЕНОК

При обработке цветных негативных пленок пользуются как специальным лабораторным оборудованием, так и оборудованием, применяемым в черно-белой

фотографии. В связи с чувствительностью цветофотографических материалов ко всей оптической зоне спектра их обрабатывают в темноте. Для ориентировки в лаборатории имеются защитные фонари, дающие темно-зеленое неактивное освещение. Для обработки цветных негативных и обрабатываемых пленок предназначается защитный светофильтр № 170, а для позитивных — № 166. Фонари снабжают лампой мощностью 25 Вт и располагают не ближе 1 м от рабочего места. Для предупреждения вуалирования фотослоя не должно быть прямого попадания на фотоматериал света фонаря.

В связи с тем что проявление ведут в полной темноте и визуально контролировать ход процесса нельзя, цветной материал обрабатывают по времени. Время отсчитывают с помощью сигнальных (звонковых) часов.

Очень важное значение для качества цветного изображения имеет чистота фотографических растворов, поэтому чтобы предупредить загрязнение одних растворов другими и образование неустраняемой вуали или других дефектов, для каждого раствора должна быть отдельная кювета или бачок. Для промывки обрабатываемой фотопленки пользуются проточной водой. При повышении температуры промывной воды и плохой ее циркуляции на изображении образуется повышенная вуаль. Промывка при повышенной температуре воды, а также использование слишком мягкой воды вызывают появление пузырей на эмульсионных слоях или даже их сползание. Поэтому в теплое время года промывную воду охлаждают и поддерживают необходимую температуру растворов с помощью холодильных установок.

Увеличение кислотности промывной воды, наблюдаемое при попадании в нее кислых солей из почвы после сильных дождей, вызывает появление на изображении красной вуали. Если в промывной воде присутствуют песок и другие механические примеси, то для предупреждения загрязнения фотослоя пленки воду следует пропустить через очищающие фильтры. Полнота окончательной промывки в значительной степени влияет на сохранность цветного изображения. Чем тщательнее промывает негатив и отпечаток, тем дольше цветное изображение на них не выцветает.

Процесс обработки отечественных цветных негативных пленок состоит из следующих операций:

	Продолжительность обработки, мин	Температура растворов, °C
— Проявление	5—8	20±0,3
— Допроявление	5	20±0,3
— Фиксирование	4—7	18±2
— Промывка	10—12	11±3
— Отбеливание	4	20±1
— Промывка	5	11±3
— Фиксирование	4	18±2
— Промывка	15—25	11±3

После первого фиксирования дальнейшую обработку фото-пленки можно проводить на свету. В конце окончательной промывки можно применять раствор пластификатора или смачивателя.

Сокращение продолжительности химико-фотографической обработки цветных негативных пленок может быть достигнуто при режиме одноразовой обработки:

	Продолжительность обработки, мин	Температура растворов, °C
Проявление	5—8	20±0,3
Допроявление	5	20±0,3
Фиксирование	6	18±2
Отбеливание	4	20±1
Промывка	15—25	11±3

Следует помнить, что отступление от установленных режимов обработки приводит к нарушению правильной цветопередачи, сползанию, пузырению или вуалированию фотослоя. Температуру растворов и промывной воды контролируют термометрами. Автоматическое поддержание стабильности температуры обеспечивается терморегулирующими устройствами.

Раствор в процессе обработки необходимо перемешивать. Одновременно с этим удаляются пузырьки воздуха с поверхности фотослоя и предупреждается неровное проявление.

Цветные негативные пленки следует проявлять в проявляющем растворе (рН = 10,5 ... 10,7)

Динатриевая соль этилендиамин-N, N,N',N'-тетрауксусной кислоты двухводная (трилон Б), г	2
Гидроксиламин сернокислый, г	1,2
Парааминодиэтиланилисульфат (ЦПВ-1), г	2,3
Сернистокислый натрий (сульфит натрия) безводный, г	2
Углекислый калий (поташ), г	60
Бромистый калий, г	2
Вода, л	До 1

Некоторые химические реактивы, используемые в цветной фотографии, имеют следующие условные сокращенные названия:

Полное название	Сокращенное название
Парааминодиэтиланилисульфат	ЦПВ-1 (цветное проявляющее вещество 1), ТСС, Т-22
Парааминоэтилоксиэтиланилисульфат (этилоксиэтилпарафенилендиаминсульфат)	ЦПВ-2 (цветное проявляющее вещество 2), Т-32
Гидроксиламин сернокислый (или гидроксиламин солянокислый)	С-55

Полное название	Сокращенное название
Динатриевая соль этилендиамин-N,N,N',N'-тетрауксусной кислоты двуводная (двунатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты)	Трилон Б, М-23
Гексаметафосфат натрия	М-19

После окончания проявления фотопленку переносят в допроявляющий раствор (рН 6,8 ... 7,8):

Пироксеринокислый натрий (метабисульфит натрия), г	2
Вода, л	До 1

Затем фотопленку фиксируют в фиксирующем растворе (рН = 6,5 ... 6,9):

Тиосульфат натрия кристаллический, г	200
Сернистокислый натрий (сульфит натрия) безводный, г	5
Пироксеринокислый натрий (метабисульфит натрия), г	2
Вода, л	До 1

После промывки в проточной воде фотопленку переносят в отбеливающий раствор (рН = 4,5 ... 5,5):

Железосинеродистый калий, г	30
Бромистый калий, г	15
Фосфорнокислый калий однозамещенный, г	17
Вода, л	До 1

При сокращенном режиме обработки в качестве отбеливающего раствора применяют раствор, содержащий только железосинеродистый калий — 30 г/л (рН = 7).

Для компенсации расходования проявляющего раствора и частичного восстановления его свойств после обработки четырех листов форматной фотопленки размером 9 × 12 см, а также одной малоформатной или катушечной фотопленки в 1 л рабочего раствора доливают 40 мл свежего проявителя, не содержащего бромистого калия. В фиксирующий и отбеливающий растворы также вводят по 20 мл свежих растворов.

§ 6. ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ ОБРАЩАЕМЫХ ПЛЕНОК

Последовательность технологических операций и режим химико-фотографической обработки цветных обрабатываемых пленок ЦО-22, ЦО-32Д и ЦО-90Л должны быть следующими:

	Продолжи- тельность обработки, мин	Температура растворов, °C
Черно-белое проявление	8—14	25±0,5
Промывка	2	15±3
Останавливающая ванна	2—3	20±1
Промывка	5	15±3
Засветка двумя лампами мощностью по 100 Вт на расстоянии 0,3 м со сто- роны эмульсионного слоя	2—3	—
Цветное проявление	10	25±0,5
Промывка	20	15±3
Отбеливание	5	20±1
Промывка	5	15±3
Фиксирование	5	20±1
Промывка	15	15±3

В процессе черно-белого проявления обрабатывающий раствор в течение первых 5—10 мин надо энергично перемешивать.

Фото пленки после черно-белого проявления промывают, затем обрабатывают в останавливающем или дубяще-останавливающем растворе, после этого снова промывают и затем засвечивают. Останавливающий раствор с уксусной кислотой при ручной обработке пленок в бачках может быть заменен дубяще-останавливающим раствором.

В связи с тем что при засветке тепловое излучение ламп является часто причиной плавления фотослоя, в профессиональных лабораториях фото пленку засвечивают 10—15 люминесцентными лампами, смонтированными на щите. При засветке на фото пленку воздействуют большими количествами света для того, чтобы он в достаточной степени мог проникнуть в нижние эмульсионные слои, скрытые серебряным противоореальным слоем, с одной стороны, и серебром изображения — с другой. При недостаточной засветке нижний эмульсионный слой, получив незначительные экспозиции, будет проявляться слабо, что вызовет слабое проявление голубого красителя. Следовательно, и позитивное изображение будет малонасыщенным с преобладанием красного оттенка. Несколько большая засветка не оказывает отрицательного влияния на качество цветного изображения.

Вслед за засветкой следует цветное проявление, после чего фото пленку продолжительное время интенсивно промывают для полного удаления цветного проявляющего вещества. В противном случае при обработке фото пленки в отбеливающем растворе на изображении образуется интенсивная красная вуаль.

Отбеливание заключается в переводе серебра изображения фильтрового и противоореального слоев в галогенид серебра. После отбеливания фото пленку промывают и фиксируют.

В растворе фиксажа галогидные соли серебра переводятся в хорошо растворимые соединения и полностью удаляются из

фотослоев в фиксаже и при последующей промывке. Полученное в результате химико-фотографической обработки цветное изображение состоит только из красителей. Компенсация расхода раствора для черно-белого проявления и частичное восстановление его свойств достигаются добавлением в рабочий раствор 80 мл свежего проявителя, не содержащего бромистого калия после обработки одной малоформатной или катушечной фотопленки. Восстановление свойств раствора для цветного проявления достигается добавлением после обработки каждой фотопленки 40 мл безбромидного проявителя.

§ 7. ЦВЕТНАЯ ФОТОПЕЧАТЬ

В цветной фотографии, как и в черно-белой, различают два вида фотопечати: контактную и проекционную (оптическую). Цветное позитивное изображение может быть получено на трехслойной фотобумаге или на трехслойной позитивной фотопленке.

Печатают на цветные фотоматериалы, как правило, через специальные корректирующие светофильтры (субтрактивный способ печати). Для цветной печати необходим следующий минимум оборудования и принадлежностей: копировальный прибор (контактный или проекционный), стабилизатор напряжения, экспозиционные часы или реле времени, кадрирующая рамка (для проекционной печати), корректирующие светофильтры.

С помощью корректирующих светофильтров можно управлять печатающим светом и получать изображение в натуральных цветах. Процесс подбора корректирующих светофильтров называется *цветокорректировкой*. Необходимость цветокорректировки вызывается нарушениями цветового баланса негативного и позитивного материалов, отклонением спектрального состава съемочного и копировального освещения от идеального для данного фотоматериала, неточным соблюдением условий обработки фотоматериала.

При цветной печати пользуются различными вспомогательными приборами и приспособлениями, облегчающими процесс подбора корректирующих светофильтров: мозаичными светофильтрами, мультипликаторами, видеокорректорами и цветоанализаторами.

Копировальные приборы. Основное требование к копировальным приборам для цветной печати заключается в том, что они должны обеспечивать возможность регулирования спектрального состава копировального света. Контактный копировальный прибор имеет специальную *рамку для установки корректирующих светофильтров*. Рамку помещают между источником света и цветным негативом. Чем ближе она находится к источнику света, тем меньшего размера требуются корректирующие

светофильтры и тем равномерное освещается цветной негатив.

В фотоувеличителях корректирующие светофильтры могут быть расположены: между электролампой и конденсором, линзами конденсора, конденсором и негативом, объективом и фотобумагой.

Фотоувеличители, в которых рамки для корректирующих светофильтров располагаются между электролампой и конденсором, получили наибольшее распространение. Такое расположение светофильтра обеспечивает равномерное освещение негатива. Иногда для защиты корректирующих фильтров от теплового излучения электроламп используют теплофильтр. Размещение корректирующих светофильтров между линзами конденсора также обеспечивает большую равномерность освещения негатива, но конструкции таких увеличителей встречаются редко. Если светофильтры располагаются между объективом и фотобумагой, то качество проецируемого изображения может быть ухудшено дефектами фильтров (царапинами, помутнением и др.).

В копировальных приборах используются обычные лампы накаливания (в том числе галогенные) и кинопроекционные лампы.

Для поддержания постоянства питающего напряжения копировальный прибор имеет стабилизатор напряжения. Постоянное напряжение может также поддерживаться с помощью автотрансформатора и вольтметра или реостата и вольтметра. На качество цветопередачи большое влияние оказывает точность отсчета времени экспонирования. Поэтому при цветной печати в комплекте с копировальным прибором следует пользоваться экспозиционными часами или электронным реле времени.

В связи с тем что печатают в темноте, точное размещение фотобумаги на экране фотоувеличителя обеспечивается с помощью кадрирующей рамки. Размер рамки выбирают в зависимости от формата фотобумаги.

Спектральный состав света копировального прибора регулируют с помощью набора корректирующих светофильтров, состоящих из трех групп цветов: желтых, пурпурных и голубых. Каждый корректирующий светофильтр состоит из двух склеенных стекол, между которыми расположен окрашенный слой желатина. Светофильтры каждой группы различаются по плотности, выражаемой в процентах по отношению к самому плотному фильтру данной группы (его плотность принимают за 100 %).

Существует два набора корректирующих светофильтров: малый и большой. В состав малого набора входит 33 светофильтра по 11 фильтров каждого цвета. Плотность каждой группы светофильтров следующая: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 % (для сохранения двузначности цифр фильтр с плотностью 100 % обозначается числом 99). При печати может быть получена точность до 5 %, что достигается складыванием 5 %-ного фильтра с любым другим фильтром. В состав большого набора входит 60 светофильтров по 20 фильтров каждого цвета. Фильтры большого набора различаются между собой на 5 %.

Корректирующие светофильтры имеют размеры 6×6 ; $7,5 \times 7,5$; 9×9 и 13×13 см. Каждый фильтр имеет обозначение, состоящее из трех двузначных чисел. Первые две цифры обозначают плотность желтого, вторые — пурпурного и третьи — голубого фильтра. Так, при плотности пурпурного фильтра 60 % на его углу поставлено 00 60 00, при плотности желтого фильтра 30 % — 30 00 00 и т. д.

Корректировать цвет можно также с помощью *цветосмесителей*, вмонтированных в корпус специальных объективов. Цветосмеситель представляет собой систему светофильтров дополнительных (желтого, пурпурного и голубого) цветов. Эти светофильтры располагают между линзами объектива. Взаимным перемещением светофильтров регулируют площадь действующего отверстия объектива, перекрываемую каждым из них, и таким образом изменяют спектральный состав излучения копируемого света. Объектив (рис. 143) представляет собой четырехлинзовый анастигмат с относительным отверстием 1:5,6 и фокусным расстоянием 80 мм. В корпус объектива вмонтированы четыре стеклянных светофильтра (два желтых, один пурпурный и один голубой), передвигаемых с помощью двух ручек управления (стрелками на рисунке обозначено направление перемещения светофильтров). Вводя светофильтры в световой поток, можно изменять его спектральный состав. При повороте первой ручки в одну сторону от нулевой отметки перемещается желтый светофильтр, а в другую — пурпурный. При повороте второй ручки передвигаются соответственно желтый и голубой светофильтры. На ручках управления по обе стороны от нулевой

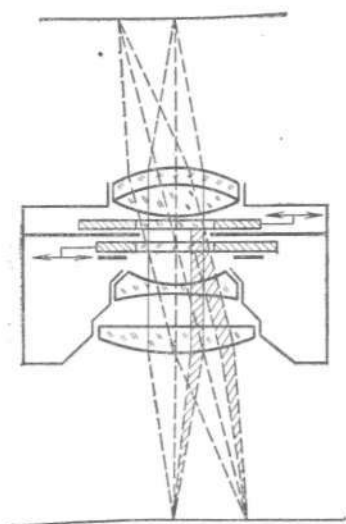


Рис. 143. Объектив со встроенными корректирующими светофильтрами

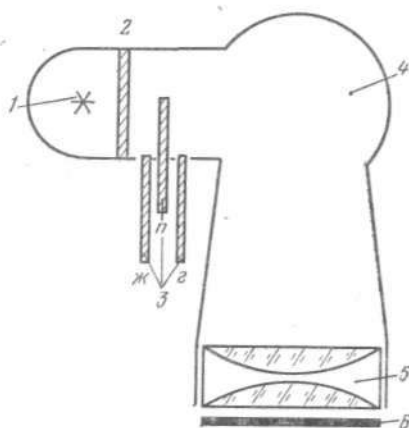


Рис. 144. Цветоголовка

отметки нанесены цветные шкалы, соответствующие цвету светофильтра по общепринятому обозначению их плотности в процентах.

На фотоувеличителе вместо фонаря устанавливают *цветоголовки*, в которых корректирование цвета осуществляется с помощью светофильтров, вводимых в световой поток лампы. Принцип работы прибора следующий. Свет от лампы 1 (рис. 144) проходит через теплофильтр 2, уменьшающий нагревание негатива, и попадает в блок из трех корректирующих светофильтров 3 (желтого, пурпурного и голубого). В зависимости от цвета и площади введенных светофильтров изменяется спектральный состав копируемого света, попадающего через светорассеиватель 4 и конденсор 5 фотоувеличителя на негатив 6. Управление фильтрами осуществляется с помощью трех ручек, вынесенных на переднюю стенку прибора. Шкалы отградуированы согласно общему обозначению. Плотность светофильтров может изменяться от 0 до 150 %.

При пробной цветной печати для лучшего запоминания выбранной цветовой настройки плотность фильтров записывают карандашом на обратной стороне листа фотобумаги. Например, если при печати был использован желтый корректирующий светофильтр плотностью 30 % и пурпурный плотностью 70 %, то делают запись 30 70 00.

Цветокорректировка и расчет времени экспонирования при цветной фотографической печати. Корректирующий светофильтр в зависимости от его плотности поглощает в большей или меньшей степени лучи одной из трех зон спектра излучения копируемой лампы (желтый фильтр поглощает лучи синей, пурпурный — зеленой, голубой — красной зоны спектра). Если необходимо задержать лучи двух зон, то подбирают соответствующие светофильтры двух цветов.

Цветовую настройку осуществляют методом пробной печати. На одном или нескольких кусках цветной фотобумаги без корректирующих светофильтров с цветного негатива изготовляют несколько пробных цветных отпечатков с разными временами экспонирования. После проявления из полученных пробных отпечатков выбирают отпечаток, наиболее удачный по плотности, а следовательно, и по экспозиции. Качество цветовой коррекции определяют при дневном или близком ему по спектральному составу освещении. Экспозицию, при которой был получен лучший отпечаток первой пробы, при всех дальнейших расчетах принимают за исходную. По преобладанию того или иного цвета на пробном отпечатке судят о необходимой цветовой настройке.

Цвет корректирующих светофильтров, выбираемых при цветовой настройке, должен совпадать с преобладающим цветом на пробном отпечатке. Так, если на пробном отпечатке получен излишний пурпурный цвет, то его можно устранить при последующей печати, используя в копирувальном приборе корректи-

рующий светофильтр пурпурного цвета. Объясняется это тем, что пурпурный фильтр, частично задерживая зеленые лучи, вызывает образование более слабого скрытого изображения в зеленочувствительном слое, а следовательно, и слабое образование пурпурного красителя в нем при проявлении. Таким образом, применяя пурпурный светофильтр, можно ослабить пурпурный цвет на отпечатке.

Чем больше преобладает на пробном отпечатке излишний цвет, тем большей плотности выбирают корректирующий светофильтр. Для устранения излишнего желтого или голубого цвета соответственно берут желтый или голубой корректирующий фильтр. Другие цвета могут быть откорректированы комбинациями фильтров двух цветов. Так, для устранения излишнего красного цвета складывают пурпурный и желтый светофильтры. Если на отпечатке появился цвет, обратный устраняемому, то это значит, что при печати выбраны корректирующие светофильтры слишком большой плотности. В дальнейшем плотность этих фильтров необходимо уменьшить. При последующей печати выбранные корректирующие светофильтры вставляют в рамку копировального прибора и уже с ними экспонируют. Корректирующие светофильтры уменьшают освещенность негатива, что приводит к необходимости пересчета времени экспонирования.

Цветокоррекцию и время экспонирования приходится несколько раз уточнять. Для ускорения работы экспонирование можно проводить на нескольких листах фотобумаги с различной плотностью выбранных корректирующих светофильтров. При печати проб на обратной стороне отпечатка следует обозначать плотность корректирующих светофильтров и время экспонирования. Из полученной серии отпечатков выбирают наиболее удачный и в дальнейшем печатают с соответствующей ему цветокоррекцией.

Изменить время экспонирования по сравнению с исходной при установке корректирующих светофильтров можно с помощью расчетов или таблиц. При расчетном способе исходят из того, что при установке желтых светофильтров до плотности 20 % время экспонирования не увеличивают. При плотности светофильтров 30 и 40 % требуется увеличить время экспонирования на 5 %, при плотности светофильтров 50 % — на 10 % и каждое следующее увеличение плотности на 50 % требует соответствующего увеличения времени экспонирования на 10 %. При каждом увеличении плотности пурпурных и голубых светофильтров на 10 % требуется увеличить время экспонирования также на 10 %. Для устранения влияния стекол фильтров при установке каждого фильтра следует увеличить экспонирование на 10 %. При той или иной комбинации корректирующих светофильтров необходимое время экспонирования рассчитывают по табл. 9.

Табл. 9. Расчет необходимого времени экспонирования

Суммарная плотность, %	Необходимое время экспонирования при различном исходном времени экспонирования, с							
	5	10	15	20	25	30	40	50
10	5,5	11	16,5	22	27,5	33	44	55
20	6,1	12,1	18,2	24,2	30,3	36,3	48,4	60,5
30	6,7	13,3	20	26,6	33,3	39,9	53,2	66,5
40	7,3	14,6	22	29,3	36,6	43,9	58,6	73,2
50	8,0	16,1	24,1	32,2	40,2	48,3	64,4	80,5
60	8,8	17,7	26,5	35,4	44,2	53,1	70,9	88,6
70	9,7	19,5	29,2	39	48,7	58,5	77,9	97,4
80	10,7	21,4	32,1	42,9	53,5	64,3	85,7	107,2
90	11,8	23,6	35,3	47,1	58,9	70,7	94,3	117,8
100	12,9	25,9	38,8	51,8	64,7	77,8	103,7	129,7
110	14,2	28,5	42,7	57	71,2	85,6	114,1	142,6
120	15,7	31,4	47,1	62,7	78,5	94,1	125,5	156,9
130	17,2	34,5	51,7	69	86,2	103,5	138	172,6
140	18,9	37,9	56,9	75,9	94,8	113,9	151,8	189,8
150	20,8	41,7	62,6	83,5	104,3	125,2	167	208,8
160	22,9	45,9	68,8	91,8	114,7	137,8	183,7	229,7
170	25,2	50,5	75,7	101	126,2	151,5	202,1	252,6
180	27,8	55,6	83,3	111	138,8	165,7	222,3	277,9
190	30,5	61,1	91,6	122,2	152,7	183,3	244,5	305,7
200	33,6	67,2	100,8	134,4	168	201,7	268,9	336,2

Например, требуется определить время экспонирования при печати с комбинацией корректирующих светофильтров 00 50 30. Исходное время экспонирования равно 20 с. Для определения экспозиции в верхнем ряду таблицы находят исходное время экспонирования (20 с), а в вертикальном левом столбце — суммарную плотность светофильтров и стекол: $50 + 30 + 10 + 10 = 100$ %. В месте пересечения этих рядов находится искомое значение времени экспонирования $51,8 \approx 52$ с.

Цветокорректировка может быть упрощена подбором цветового баланса фотобумаги к цветовому балансу негатива. Цветовой баланс цветной фотобумаги определяют путем пробного печатания на ней изображения с любого черно-белого негатива и обработкой в цветном проявителе. При идеальном цветовом балансе должно получиться нейтральное черно-белое изображение, но поскольку светочувствительность фотобумаги неодинаковая, то и изображение получится с преобладанием цвета наиболее чувствительного слоя. По этому преобладающему цветовому оттенку и судят о цветовом балансе фотобумаги. К негативу, имеющему тот или иной преобладающий цветовой тон, подбирают фотобумагу такого же баланса. Например, печатают с негатива с пурпурным цветовым балансом. Преобладающий на негативе пурпурный цвет задержит зеленые лучи, что вызовет слабое образование скрытого изображения, а следовательно, и малый выход пурпурного красителя в среднем слое фотобумаги. Для того чтобы этого не случилось и выход пурпурного красителя был нормальным, необходимо взять бумагу с пурпурным цветовым балансом, т. е. с преобладанием пурпурного цвета.

Цветовой баланс фотобумаги можно определить по значениям балансных фильтров, указанным на ее упаковке. Эта запись характеризует плотность корректирующих светофильтров, обеспечивающих получение черно-белого изображения с черно-белого негатива при условии печати на копировальном приборе с лампой, имеющей цветовую температуру 2850 К, и при строгом соблюдении стандартных условий обработки отпечатка. Значения балансных фильтров, определяемые в разных лабораториях, могут не совпадать, что объясняется изменением свойств фотобумаги, а также различием условий ее экспонирования и обработки. В связи с этим при получении новой партии фотобумаги, а также при ее хранении целесообразно определять значения балансных фильтров для данных условий обработки.

При печати на фотобумаге «Фотоцвет-2» с негативов на маскированных пленках значения корректирующих светофильтров, особенно голубого, увеличивают. Выпускаются специальные сбалансированные для маскированных пленок фотобумаги «Фотоцвет-4» и «Фотоцвет-6», не требующие применения дополнительных светофильтров и исключающих влияние маски.

Цветовая настройка с применением мозаичных (шахматных) светофильтров и мультипликаторов. Цветокорректировка может быть облегчена применением мозаичных светофильтров и мультипликаторов. С помощью *мозаичных светофильтров* ускоряется предварительный подбор комбинаций корректирующих светофильтров. В комплект *мозаичных светофильтров* входят три стеклянные пластинки размером 9×9 или 13×13 см, каждая из которых разделена на 25 клеток в виде шахматной доски. Каждая клетка состоит из комбинации одного или двух корректирующих светофильтров разной плотности (желтого и пурпурного, желтого и голубого, голубого и пурпурного). Одна из клеток каждой пластинки фильтров не имеет. Комбинации светофильтров в каждой из клеток комплекта мозаичных светофильтров следующие:

Пурпурно-голубой (синий) мозаичный светофильтр

00 00 00	00 25 00	00 50 00	00 75 00	00 99 00
00 00 25	00 25 25	00 50 25	00 75 25	00 99 25
00 00 50	00 25 50	00 50 50	00 75 50	00 99 50
00 00 75	00 25 75	00 50 75	00 75 75	00 99 75
00 00 99	00 25 99	00 50 99	00 75 99	00 99 99

Желто-пурпурный (красный) мозаичный светофильтр

00 00 00	00 25 00	00 50 00	00 75 00	00 99 00
25 00 00	25 25 00	25 50 00	25 75 00	25 99 00
50 00 00	50 25 00	50 50 00	50 75 00	50 99 00
75 00 00	75 25 00	75 50 00	75 75 00	75 99 00
99 00 00	99 25 00	99 50 00	99 75 00	99 99 00

Желто-голубой (зеленый) мозаичный светофильтр

00 00 00	25 00 00	50 00 00	75 00 00	99 00 00
00 00 25	25 00 25	50 00 25	75 00 25	99 00 25
00 00 50	25 00 50	50 00 50	75 00 50	99 00 50
00 00 75	25 00 75	50 00 75	75 00 75	99 00 75
00 00 99	25 00 99	50 00 99	75 00 99	99 00 99

Принцип цветокорректировки с применением мозаичных светофильтров следующий. Сначала с выбранного негатива на цветной фотобумаге делают пробный отпечаток без всякого корректирования и по нему определяют, какой из трех мозаичных светофильтров необходимо взять для дальнейшей работы. Если пробный отпечаток имеет преобладающий желтый цвет, то выбирают один из мозаичных светофильтров, имеющих набор желтых корректирующих светофильтров, если проба красная, то берут желто-пурпурный (красный) мозаичный светофильтр. Зная свойства используемого позитивного материала, мозаичный светофильтр можно подобрать по цветопередаче на негативе без первой пробы. При контактной печати выбранный мозаичный светофильтр кладут на стекло копировального станка, на него накладывают негатив, а на негатив — фотобумагу. При проекционной печати мозаичный светофильтр кладут на фотослой фотобумаги. Очень важно, чтобы через светофильтр пропечаталась сюжетно важная часть объекта съемки (например, лицо в портрете). После экспонирования и проявления на прочном отпечатке выбирают клетку с наилучшей цветопередачей и определяют, с какой коррекцией она получена. При этом получается грубая цветокорректировка, так как разница в цветных плотностях между соседними клетками мозаичного светофильтра составляет 25 %. Найдя на пробном отпечатке лучшую по цвету клетку, нетрудно сделать более точную цветокорректировку.

Проекционный прибор *мультипликатор* позволяет на листе фотобумаги получить 25 уменьшенных изображений негатива, расположенных в шахматном порядке. Эти изображения строятся 25 линзами-объективами. Линзы создают на каждом изображении различные условия освещения, так как между ними и фотобумагой располагается один из мозаичных светофильтров. При печати на пробном отпечатке находят одно из 25 изображений с лучшей цветопередачей и определяют, с какой цветокорректировкой оно получено. Так как мультипликатор является самостоятельным прибором, предназначенным только для определения цветовой коррекции, последующая печать снимков необходимого формата осуществляется с помощью контактного или проекционного копировального прибора.

К недостаткам этого способа цветокорректировки относится неточность в цветопередаче вследствие разницы в спектральном составе излучения источников света мультипликатора и копировального прибора. Однако с помощью мультипликатора можно получить на пробном отпечатке изображение всего сюжета, в то время как при печати за мозаичным светофильтром — только часть его. По полному изображению сюжета можно более точно определить качество цветопередачи, а следовательно, и более точно подобрать корректирующие светофильтры для последующей печати.

Фотографическая печать с применением зональных светофильтров (аддитивный способ печати). Этот способ основан на

том, что каждый из эмульсионных слоев цветной трехслойной фотобумаги чувствителен к одной из трех зон спектра: верхний слой — к синей, средний к зеленой и нижний — к красной. Поэтому цветную печать можно производить экспонированием эмульсионных слоев с помощью трех светофильтров, каждый из которых пропускает только одну из спектральных зон. Такие светофильтры называются зональными и имеют синий, зеленый и красный цвета.

Изменяя времена экспонирования за каждым из зональных светофильтров, можно регулировать плотность частичных изображений, получаемых на фотобумаге, а следовательно, и цветопередачу.

Прежде чем приступить к печати с цветного негатива, необходимо определить исходную экспозицию для каждого светофильтра. Она должна учитывать кратность светофильтра и светочувствительность соответствующего эмульсионного слоя фотобумаги. Для этого с черно-белого негатива с разным временем экспонирования (например, 4, 8, 16 и 32 с) изготавливают три серии отпечатков с частичными цветными изображениями: первую серию печатают за синим, вторую — за зеленым и третью — за красным светофильтром. Из полученных желтых, пурпурных и голубых отпечатков выбирают три наиболее удачных по экспозиции и смотрят, с какими временами экспонирования они получены. Например, отобраны отпечатки, полученные со следующими временами: желтый — 4, пурпурный — 32 и голубой — 16 с. Эти экспозиции будут исходными при дальнейшей печати, и если печатать уже на одном листе фотобумаги, то с черно-белого негатива должен быть получен отпечаток черно-белого тона.

При печати с цветного негатива сначала делают пробный отпечаток за тремя светофильтрами с соответствующими им исходными экспозициями. Если на проявленном отпечатке будет преобладать какой-либо цвет, то при последующей печати необходимо уменьшить время экспонирования за светофильтром, вызвавшим этот дефект. Например, на отпечатке преобладает пурпурный цвет. В связи с тем что он образовался под действием зеленых лучей, экспозицию за зеленым светофильтром необходимо уменьшить. В случае чрезмерного снижения времени экспонирования при цветокорректировке на пробном отпечатке появится цвет, дополнительный к устраняемому (в данном случае зеленый).

Для того чтобы общая плотность отпечатка при цветокорректировке не снизилась, необходимо при уменьшении времени за одними светофильтрами соответственно увеличить их за другими.

Принцип аддитивной печати положен в основу ряда конструкций автоматических копировальных устройств.

§ 8. ЛАБОРАТОРНАЯ ОБРАБОТКА ЦВЕТНОЙ ФОТОБУМАГИ

При массовой обработке цветной фотобумаги в производственных условиях используют оборудование и специальные приборы, обеспечивающие получение стандартных по показателям цветных изображений. Общие правила обработки цветных позитивных фотоматериалов такие же, как и правила обработки цветных негативных пленок. При цветном позитивном процессе используют фонарь с защитным светофильтром № 166. В связи с тем что обработку цветной фотобумаги выполняют вручную, в состав цветного проявителя вводят цветное проявляющее вещество парааминоэтилдиоксипарафенилсульфат (этилоксиэтилпарафенилендиаминсульфат), обладающее меньшей токсичностью по сравнению с парааминодиэтиланилинсульфатом. Чтобы исключить возможное заболевание кожи, руки при попадании на них проявителя следует ополаскивать 3 %-ным раствором уксусной кислоты. При работе с цветным проявителем необходимо также пользоваться резиновыми перчатками.

Результаты химико-фотографической обработки цветной фотобумаги зависят от точности соблюдения режимов (табл. 10). При увеличении продолжительности проявления или первой промывки увеличивается плотность и контрастность изображения на фотобумагах. Увеличение температуры проявляющего раствора равносильно увеличению времени проявления.

Т а б л. 10. Обработка цветных фотобумаг

Операция	«Фотоцвет-2» и «Фотоцвет-Ф»		«Фотоцвет-Б»			
	Температура, °С	Время, мин	Первый режим		Второй (ускоренный) режим	
			Температура, °С	Время, мин	Температура, °С	Время, мин
Цветное проявление	20±0,5	5	20±0,5	8	25±0,3	6
Промывка	10—20	0,5	—	—	—	—
Остаивающий раствор	18—20	3	20±2	2	25±2	1
Фиксирование	—	—	20±2	4	25±2	2
Промывка	10—20	0,5	20±5	5	23±5	2
Отбеливание и фиксирование	18—20	7	20±2	6	25±2	4
Промывка	10—20	7	20±5	5	23±5	2
Дубящий раствор	—	—	20±2	5	25±2	2
Промывка	—	—	20±5	10	23±5	5
Стабилизация	18—20	3	20±2	2	25±2	1
Сушка или глянцеование	35±5	—	70±10	—	70±10	—

При обработке цветофотографической бумаги проявляющий раствор необходимо постоянно перемешивать, чтобы исключить возможность неравномерного проявления фотослоя и появления светлых пятен на фотоизображении. При проявлении температуру обрабатывающих растворов и промывной воды надо постоянно контролировать. Стабилизирующий раствор повышает белизну светлых участков фотоизображения и уменьшает выцветание красителей при хранении отпечатков.

При химико-фотографической обработке цветной фотобумаги для компенсации расходования проявителя и частичного восстановления его свойств после обработки небольших партий фотобумаги в рабочий раствор вводят дополнительный свежий проявитель из расчета 20 мл на один отпечаток размером 9×12 см. Соответственно в другие растворы рекомендуется вводить следующие добавки, мл: останавливающий раствор — 20, отбеливающий раствор — 10, фиксаж — 10.

ГЛАВА X

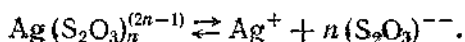
СБОР СЕРЕБРА ИЗ ОТХОДОВ.

СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЛОИ, НЕ СОДЕРЖАЩИЕ СЕРЕБРО

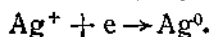
§ 1. СБОР СЕРЕБРА ИЗ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Серебро содержится в следующих отходах фотографии: отработанных фиксирующих растворах, первой после фиксирования промывной воде, отработанных отбеливающих и отбеливающе-фиксирующих растворах, обрезках фотопленок и фотобумаг, бое фотопластинок, отбракованных и использованных негативах и отпечатках, фильтрах и материалах (ветоши), употребляемых для мытья посуды из-под серебросодержащих отходов.

Электролитический метод сбора серебра. Этот метод имеет наиболее широкое применение. Принцип его заключается в восстановлении металлического серебра на катоде электролитической установки. Большая часть серебра в растворе фиксажа содержится в виде комплексов. При пропускании электрического тока через электролит происходит диссоциация комплексов на ионы:

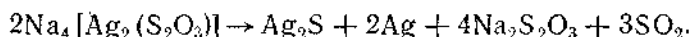


В процессе электролиза серебро осаждается на отрицательно заряженном электроде (катоде), т. е. переходит из ионного состояния Ag^+ в металлическое серебро Ag^0 :



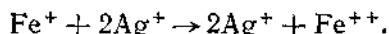
Преимущество этого метода в том, что фиксаж может вновь использоваться с внесением небольших количеств химических компонентов.

В установках М-1 происходит электросернистое осаждение серебра. Из отработанных фиксажей происходит выделение серебра в виде смеси металлического и сернистого серебра:



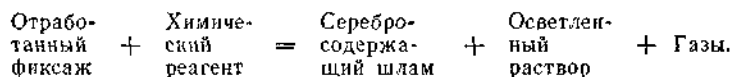
Технологический процесс ведется таким образом, чтобы на катоде получался шламообразный осадок, легко сползающий с катода на дно ванны, что позволяет легко сливать его из ванны вместе с раствором в осадительный бак без выемки катодов.

Химический и физико-химический методы извлечения серебра. К химическим методам восстановления серебра относятся сульфидный, гидросульфидный, восстановление серебра формалином, проявителем. Новым высокоэффективным методом восстановления серебра из серебросодержащих отходов является метод осаждения серебра боросодержащим восстановителем боргидридом натрия NaBH_4 и гидразинборатом $\text{BH}_3\text{N}_2\text{H}_4$. Метод восстановления серебра металлами основан на физико-химическом процессе вытеснения из растворов растворенных в них благородных металлов такими металлами, как железо, цинк, алюминий. Для металлообмена широко используется железная стружка (вата). Один атом железа замещается двумя атомами серебра:



Практически установлено что на осаждение 1 г серебра из отработанного фиксажного раствора требуется 1 г сернистого натрия кристаллического, 1,7 г тиосульфата натрия кристаллического, 2 г цинковой пыли, 2 г алюминиевой пыли или стружки, 2—5 г железной стружки. При недостаточном количестве реагента происходит неполное осаждение серебра.

Процесс осаждения серебра с помощью химических реагентов можно условно выразить схемой



При введении в отработанный фиксаж раствора сернистого натрия происходит его реакция с комплексным серебрянотио-сульфатным соединением, в ходе которой образуется оседающее на дно бака сернистое серебро.

Из отработанных отбеливающих растворов серебро осаждается с помощью хлористого натрия, после введения которого раствор нагревают до температуры 80—100 °С и перемешивают. После появления осадка, представляющего собой хлористое

серебро, его отфильтровывают и сушат. Оставшийся раствор должен быть проверен на полноту осаждения.

Засвеченные, отбракованные, а также бывшие в употреблении фотопленки, фотобумага, фотопластинки, негативы и фотоотпечатки подвергают специальной обработке, в ходе которой с них смывается серебросодержащий фотослой.

Фотоматериалы сначала отбеливают раствором, содержащим 120 г/л поваренной соли и 40 г/л медного купороса в течение 40 мин, затем фиксируют. Отработанный фиксаж поступает на осаждение серебра в специальный аппарат (например АПП-Т типа М-1).

Оборудование. Отработанные серебросодержащие растворы собирают в специальные емкости (баки), изготовленные из винипласта или некоррозирующей стали, покрытой щелочно- и кислотоустойчивой краской. В небольших лабораториях отработанные растворы собирают в полиэтиленовые канистры или стеклянные бутылки. Всю стеклянную тару следует держать в корзинах или специальных стояках. Обрезки и отходы фотопленки и фотобумаги, а также фотопластинок и их бой собирают отдельно друг от друга в железные ящики. Для регенерации серебра из фиксажных растворов, целесообразно использовать электролизные ванны «Ладога» КВУ-19, РЭС-1 и др., предназначенные для получения на катоде металлического серебра.

Электролитическая установка «Ладога» КВУ-19 (рис. 145) имеет электролизную ванну вместимостью 50 л с четырьмя неподвижными прямоугольными графитированными анодами и вращающимся титановым катодом, имеющим форму полного барабана. Принцип работы установки основан на пропускании постоянного тока через фиксирующий раствор, залитый в электролизную ванну. В результате на катоде осаждается слой 94—98 %-ного металлического серебра. Благодаря вращению барабана обеспечивается перемешивание раствора, чем предупреждается образование у поверхности катода слоя сернистого натрия и сернистого серебра, которые могут препятствовать получению металлического серебра.

Продолжительность цикла работы установки 1,5—2 ч. Регенерированный фиксаж после введения освежающей добавки может быть использован повторно. В конечном регенерированном фиксаже остается до 0,5 г серебра на 1 л. Цикл можно повторять несколько раз подряд до получения на катоде слоя серебра толщиной 8—10 мм.

Осаждение серебра из серебросодержащих растворов, не используемых повторно и состоящих из смеси фиксирующих растворов и промывных вод, рекомендуется проводить в аппаратах М-1 и М-2, предназначенных для проведения электросернистого осаждения. Аппараты М-1 и М-2 аналогичны по принципу работы и внешнему виду и состоят из катода 1 (рис. 146), изолятора 2, цепи 3 катода, анода 4, стержня 5, цепи 6 анода.

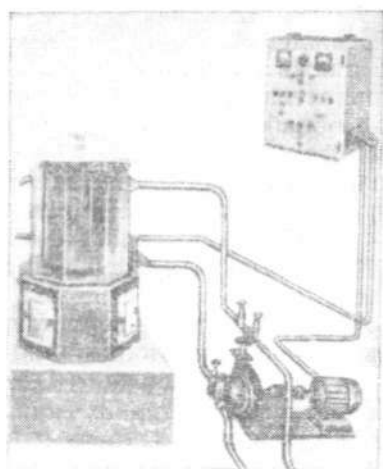


Рис. 145. Прибор «Ладoga» КВУ-19

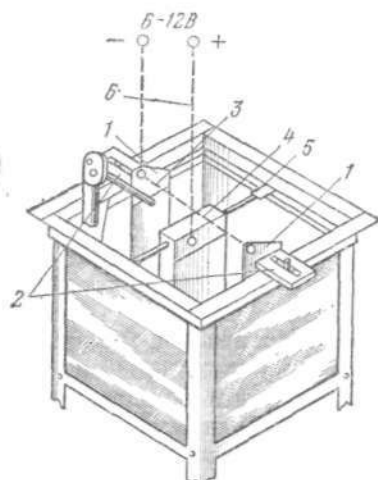


Рис. 146. Устройство для электролитического осаждения серебра в приборах М-1 и М-2

В комплект аппаратов входят также селеновые выпрямители ВСА-10.

Режим работы аппарата должен гарантировать перевод всех серебрянотиосульфатных комплексных солей в сернистое серебро. Режим электропитания контролируется по электроизмерительным приборам, установленным для аппарата М-1:

Мощность электронагревателя, кВт	1,8—2
Напряжение сети, В	127—220
Ток в выпрямителе (амперметре), А	8—13,5
Напряжение регулятора (вольтметра), В	6—12
Производительность аппарата, г/ч	50—60

Осаждение серебра электролитическим способом проходит в таком порядке. Сначала готовят аппарат к работе. Заливают фиксаж в верхний электролизный бак 1 (рис. 147) и включают ток. Продолжительность процесса электролиза зависит от производительности аппарата, концентрации серебра в растворе и объема обрабатываемого раствора. Для устранения запаха сероводорода в раствор добавляют щелочь, которая также ускоряет процесс электролиза. По окончании электролиза раствор сливают с помощью затвора 2 в осадительный бак 3 для отстаивания. В баке имеется нагревательный элемент 4, ускоряющий осаждение серебра. Продолжительность отстаивания при нагревании около 2 ч, без нагревания — 20 ч (в аппарате М-2 нагревателя нет). После отстаивания верхний осветленный слой рас-

твора сливают через резиновую трубку 5. Заполняют бак и сливают осветленный раствор несколько раз подряд до полного заполнения бункерной части серебросодержащим шламом. Затем открывают нижний затвор 6 и шлам выгребают специальной деревянной лопаткой в матерчатый фильтр 7. Собранный серебросодержащий шлам сушат и отправляют на завод.

Установку М-1 приспособливают для осаждения серебра химическим методом, используя реагентный осадитель. Для ускорения процесса осаждения серебра используется нагреватель. Все дальнейшие операции аналогичны операциям при электроосаждении.

При небольших объемах работ применяют аппарат М-4 (рис. 148) для электролитического осаждения серебра. В бутылку вместимостью 10—20 л вставлены две пары электродов из цинка и меди. Концы этих электродов в верхней части замкнуты. При наполнении бутылки отработанным фиксажем, активным по отношению к электродам, в них начинает течь электрический ток по контуру: медный электрод — раствор — цинковый электрод — раствор. При этом на медной пластине осаждается серебро из регенерируемого фиксажа. При химическом осаждении электроды убирают. В заключение процесса на горловину бутылки надевают матерчатый фильтр для слива раствора с серебросодержащим осадком.

При использовании аппарата М-4 для химического осаждения серебра применяют цинковую пыль, не вызывающую образования сернистого натрия. Сначала в бутылку засыпают расчет-

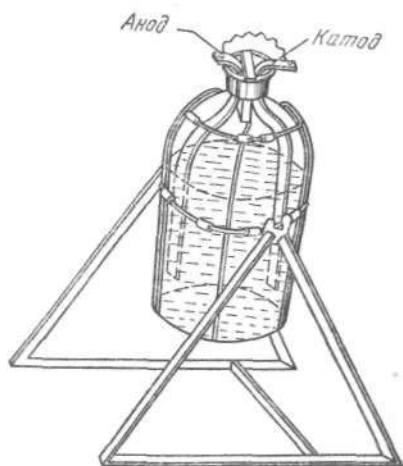
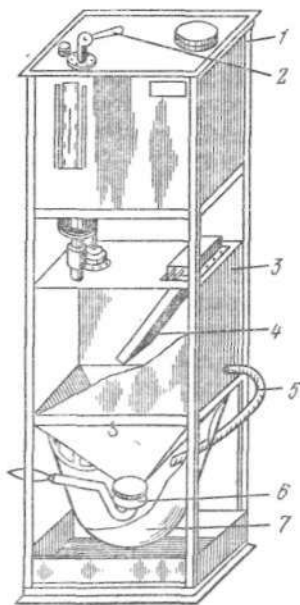


Рис. 148. Прибор М-4 с гальванической парой

Рис. 147. Прибор М-1

ное количество цинковой пыли, а затем заливают фиксаж примерно на $\frac{2}{3}$ объема бутылки. Процесс осаждения серебра продолжается около суток. Бутылку при этом периодически, через 3—4 ч, покачивают для перемешивания раствора и обеспечения полноты осаждения серебра. Для сбора серебросодержащего шлама на горловину бутылки установки М-4 надевают матерчатый мешок (фильтр) и, наклоня бутылку, выливают ее содержимое в ведро. Шлам остается в мешке.

Сбор серебра методом металлообмена проводится с помощью патронов, наполненных железными нитями (ватой).

Существуют способы для некоторых видов фотографии частичной или практически полной замены серебра.

§ 2. ДИАЗОТИПНЫЙ ПРОЦЕСС

Диазотипный процесс основан на способности диазониевых солей разлагаться под действием света, сочетаясь с фенолами и аминами, и образовывать в щелочной среде азокрасители. В качестве примера приведем два диазосоединения: диазобензол азотнокислый $C_6H_5 \cdot N_2 \cdot NO_3$, диазобензол хлористый $C_6H_5 \cdot N_2 \cdot Cl$.

Известно три вида бессеребряных светочувствительных материалов для диазотипного процесса: диазотипные материалы мокрого и полумокрого проявления (однокомпонентные), диазотипные материалы сухого проявления (двухкомпонентные), диазотипные материалы, проявляемые нагреванием (трехкомпонентные). Практическое применение получили первые два вида материалов. Светочувствительный слой *однокомпонентного* материала содержит только диазосоединение. Проявляют несеребросодержащий материал путем нанесения на его поверхность ватным тампоном слоя щелочного раствора азосоставляющей или смеси азосоставляющих. Светочувствительный слой *двухкомпонентного* материала содержит диазосоединение, азосоставляющую и органическую кислоту, например лимонную. Кислоту вводят для избежания преждевременного протекания реакции азосочетания между диазосоединением и азосоставляющей и образования красителя. Экспонированный слой на основе диазосоединений обрабатывают парами аммиака, нейтрализующего кислоту. При этом на участках, не подвергавшихся действию света, начинается реакция азосочетания, при которой образуется краситель. Эта реакция не идет в местах, где при экспонировании свет подействовал на диазосоединение и вызвал его разложение. Светочувствительный слой *трехкомпонентного* материала должен содержать диазосоединение, азокомпонент и соединение, выделяющее при нагревании вещества щелочного характера, например мочевины или гуанидин, и их производные. Такой слой проявляют простым нагреванием, что приводит к образованию окрашенных соединений. В зависимости от вида и состава соединений, входящих в слой диазотипных материалов, можно

получить красно-фиолетовые, красные, коричневые, оранжевые, желтые, синие и фиолетовые изображения, а с применением более сложных смесей — зеленые и серо-черные изображения. Все виды диазотипных материалов имеют низкую светочувствительность (от 380 до 400 нм). Светочувствительный несеребросодержащий материал экспонируют в копировальных рамах или специальных светокопировальных аппаратах с применением ртутно-кварцевых ламп ПРК и РКС, дающих мощное ультрафиолетовое излучение. Промышленность выпускает механизированные светокопировальные аппараты типа СКА (рис. 149), СКС, СКМН для печати на диазотипные материалы. В этих аппаратах экспонированный светочувствительный материал проявляют парами аммиака или в щелочном растворе.

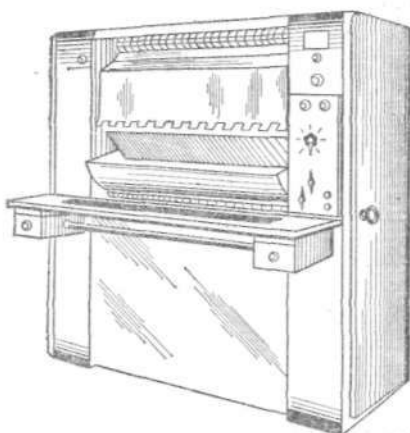


Рис. 149. Светокопировальный аппарат СКА

Диазотипные материалы выпускают в виде бумаги и кальки. Диазотипный слой может быть нанесен на ткани, металлы, пленочные и другие подложки. Этот процесс позволяет получить с негатива негатив и с позитива позитив. На диазослоях возможно очень большое уменьшение без потери деталей благодаря высокой разрешающей способности, что связано с молекулярно-дисперсной структурой этих слоев. К достоинствам процесса относится невысокая стоимость и большая скорость получения в основном штриховых бессеребряных изображений (документной информации).

§ 3. СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЛОИ С СОЛЯМИ ЖЕЛЕЗА

Применение светочувствительных бессеребряных слоев с окисными солями железа основано на способности этих солей восстанавливаться под действием света в соль закиси железа. Железо при этом переходит из двухвалентного в трехвалентное. Значительный эффект обнаруживается при применении органических солей окиси железа (например, щавелевокислая соль окиси железа $\text{Fe}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$). Были предложены две соли лимоннокислого аммиачного железа: коричневая соль лимоннокислого аммиачного железа основная $(4\text{Fe} \cdot \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3(\text{NH}_4))_3 \cdot \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 3\text{Fe}(\text{OH})_3$ и зеленая соль лимоннокислого аммиачного железа кислая $5\text{Fe} \cdot \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2(\text{NH}_4)_3 \times \text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot (\text{NH}_4) \cdot \text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Вторая соль имеет большую светочувствительность, чем первая. Эти соли светочувствительны как в водных растворах, так и в сухом состоянии. Зеленая лимоннокислая соль окиси железа и аммония имеет спектральную зону светочувствительности от 200 до 475 нм. Чувствительность коричневой лимоннокислой соли окиси железа и аммония от 214 до 475 нм.

Цианотипия (синяя печать). Это процесс, основанный на очувствлении бумаги светочувствительным бессеребряным раствором, содержащим железо лимоннокислое аммиачное и калий железосинеродистый (красную кровяную соль). Участки слоев, подвергшиеся освещению, теряют способность растворяться в воде и окрашиваются, образуя краситель — турбулему синь, которая дает красивый синий цвет. Окончательная обработка светоконии после экспонирования заключается в промывке ее водой и сушке. Этот процесс называют бессеребряным негативным, так как светокония, полученная с чертежа на кальке, представляет собой белые линии на синем фоне. Очувствляющие растворы с зеленой солью состоят из 30 %-ного раствора аммиачного железа лимоннокислого или 12 %-ного раствора железосинеродистого калия. Оба раствора перед самым употреблением фильтруют, смешивают в соотношении 1:1 и наносят мягкой кистью на бумагу. Очувствляющие растворы с коричневой солью состоят из 25 %-ного раствора аммиачного железа лимоннокислого и 20 %-ного раствора железосинеродистого калия. Растворы фильтруют и смешивают в объемах 1:1. При добавлении к 25 %-ному раствору аммиачного железа лимоннокислого 5 г лимонной кислоты чувствительность слоя повышается. При равных количествах солей отпечаток будет иметь синий тон. Избыток раствора железосинеродистого калия вызывает серовато-синий оттенок, избыток окисной соли железа с аммиаком — голубой. Экспонированную светоконию промывают проточной водой в течение 10—15 мин. Вода служит проявителем и закрепителем для светоконии. Для получения на изображении насыщенного тона после промывки светоконию ополаскивают в подкисленной воде (несколько капель соляной или серной кислоты на 1 л воды). Для ослабления изображения используют слабый щелочной раствор. Для получения наибольшего контраста светоконии опускают в слабый (1 %-ный) раствор надсерно-аммонийной соли. Если вместо синего необходимо получить на светоконии другие цвета, то изображение вирируют. Поправки на светокониях делают 6 %-ным раствором щавелевокислого калия.

Бессеребряный позитивный процесс. Для получения изображения используют те же соли окиси железа и железистосинеродистый калий (желтая кровяная соль). В результате сочетания этих солей изображение образуется в тех местах, где свет не действовал, т. е. с позитива получают бессеребряный позитив. При этом образуется нерастворимая в воде окрашенная соль —

берлинская лазурь. Получение бессеребряного изображения заключается в следующем. Сначала готовят четыре запасных раствора: 20 %-ный раствор гуммиарабика, 50 %-ный раствор аммиачного железа лимоннокислого, 50 %-ный раствор хлорного железа, 10 %-ный раствор железистосинеродистого калия. Для составления оцувствляющего раствора берут 20 мл первого, 8 мл второго и 5 мл третьего раствора. Получившаяся при этом густая масса постепенно разжижается, после чего ее наносят тонким слоем на хорошо проклеенную бумагу. Экспонирование продолжается до появления на изображении белых линий на темном фоне. Для проявления изображения применяют четвертый раствор. При этом экспонированный лист кладут на ровную поверхность (например, на стекло). Изображение появляется сразу после аккуратного нанесения на лист раствора железистосинеродистого калия. Затем светокopию переносят в 10 %-ный раствор соляной кислоты и промывают.

§ 4. СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ БЕССЕРЕБРЯНЫЕ СЛОИ С ХРОМОВОКИСЛЫМИ СОЛЯМИ

Принцип получения изображений на светочувствительных бессеребряных слоях с хромовокислыми солями основан на способности этих солей в присутствии органических веществ восстанавливаться под действием света. При изготовлении светокopии на оцувствленной бумаге получают бессеребряное негативное изображение. Проявителем и закрепителем служит проточная вода. Без усиления изображения на светокopии видны белые линии на очень слабом желто-коричневом фоне. Для увеличения плотности фона предложено несколько вариантов его усиления. Получение изображения основано на свойствах хромовокислых солей вступать в реакцию на неосвещенных участках. Усиление изображения на полученной светокopии может быть осуществлено растворами свинцовой соли, серебра азотнокислого, сероводородом, парами анилина. В настоящее время получают распространение светочувствительные бессеребряные слои с хромовокислыми солями в сочетании с коллоидными растворами. Эти слои обладают способностью вызывать дублирование коллоидов под действием света.

Пигментный бессеребряный процесс. Раствор желатина с нерастворимой краской (пигментом) и веществом, способствующим быстрому растворению незадублированного слоя в теплой воде, наносят на плотную проклеенную бумагу и оцувствляют слой в растворе хромовокислой соли. Пигментом служит уголь и нерастворенные в воде неорганические краски (кармин, индийская красная, желтый хром, жженая слоновая кость, берлинская лазурь и др.).

Лист бумаги увлажняют и кладут на горизонтальную подогретую плоскость, выставленную по уровню. Сверху на бумагу

наносят отфильтрованный раствор желатина с пигментом, выравнивая его стеклянной палочкой. После студения нанесенного слоя бумагу подвешивают для сушки. Затем бумагу оцувствляют при неактивном освещении в растворе бихромата калия. Для этого пигментную бумагу погружают слоем вниз в раствор на 2—3 мин и сушат.

Пигментную бумагу экспонируют под негативом. При этом происходит задубливание желатина на освещенных участках. Для обработки бумагу после экспонирования опускают в кювету с теплой водой. В результате незадубленный желатин вместе с пигментом растворяется в воде и на бумаге остается задубившийся слой с пигментом, дающим бессеребряное позитивное изображение. На пигментной бумаге делают светопрочные изображения в самых разнообразных тонах, а также штриховые и полутонные копии.

Бессеребряный масляный процесс. Этот процесс имеет большие возможности в художественном отношении благодаря хорошей передаче полутонов и возможности выборочного окрашивания. Он основан на способности хромированного желатина задубиваться пропорционально количеству действовавшего на него света и принимать жирную краску. Для масляного процесса требуется бумага с желатиновым слоем. Такой слой состоит из 7 %-ного раствора задубленного желатина (раствор задублен несколькими каплями формалина на 1 л воды). На лист бумаги размером 9×12 см наносят равномерным слоем 5 мл этого раствора и после его студения бумагу сушат. Слой оцувствляют растворами разного состава в зависимости от характера исходного серебросодержащего негатива, с которого должна производиться печать. Основным является 12 %-ный раствор двуххромовокислого аммония объемом 100 мл. Для оцувствления бумаги в основной раствор добавляют 8 мл 25 %-ного раствора спирта.

Экспонированную под негативом оцувствленную бумагу промывают проточной водой, удаляя желтую окраску. Для получения рельефа ее опускают в воду температурой 25—27 °С. Влажный рельеф на бумаге (матрицу) получают методом набухания. Затем на матрицу мягкой кистью наносят жирную литографскую краску. Для получения копии окрашенную матрицу контактируют с бумагой, имеющей специальный приемный слой.

§ 5. ГИДРОТИПНЫЙ ПРОЦЕСС

Гидротипный процесс сводится к субтрактивному способу трехцветной печати, получению фотографическим способом задубленных желатиновых рельефов (матрица), окрашиванию их водорастворимыми красителями и изготовлению цветных позитивов. Этот процесс применялся также для получения цветного отпечатка на бумаге.

Процесс озотипии. Основан на избирательном дублировании слоя желатина, происходящем при тесном контакте с ним отпечатка на обычной бромосеребряной фотобумаге или экспонировании хромовокислого желатинового слоя. При получении отпечатка на обычной бромосеребряной фотобумаге прикатывают слой к слою с пигментной бумагой, обработанной в специальном озобромном растворе. При этом пигментная бумага задубливается пропорционально количеству серебра в изображении на бромосеребряной фотобумаге. Слои выдерживают определенное время в контакте, а затем разъединяют и пигментную бумагу обрабатывают в кювете с теплой водой. В результате озобромного процесса получается позитив.

Процесс получения изображения состоит в следующем. Снимок на обычной черно-белой фотобумаге дубят 10 мин в 5 %-ном растворе формалина, а затем промывают и сушат. Перед озобромным процессом этот снимок размачивают в холодной воде и одновременно готовят пигментную бумагу, обрабатывая ее в течение 10 мин в озобромном растворе:

Двуххромовокислый калий (10 %-ный раствор), мл	50
Бромистый калий, г	5
Железосинеродистый калий, г	5
Калевые квасцы, г	1,6
Хромовые квасцы, г	1
Лимонная кислота, г	0,6
Дистиллированная вода, мл	424

Во время обработки снимок накладывают эмульсионным слоем вверх на стекло. Из озобромного раствора извлекают пигментную бумагу, дают излишку раствора стечь с нее, а затем накладывают снимок и прикатывают резиновым валиком. После этого сверху кладут несколько листов фильтровальной бумаги, накрывают другим стеклом и сверху помещают груз массой 2 кг. Листы выдерживают в контакте около 12 мин, а затем переносят в теплую воду для обработки. Можно после выдерживания листы разделить и затем прикатать пигментную бумагу к листу обычной бумаги для переноса на нее изображения.

Процесс карбро. Принципиально не отличается от процесса озотипии. Для получения изображения по этому процессу требуется получить отпечаток на бромосеребряной фотобумаге.

Непосредственно перед началом процесса составляют два раствора. Раствор 1 разбавляют водой в соотношении 1:3, раствор 2 — в соотношении 3 мл раствора на 1 л воды:

Раствор 1

Двуххромовокислый калий, г	10
Железосинеродистый калий, г	10
Бромистый калий, г	10
Вода, мл	100

Раствор 2

Формалин (40 %-ный), мл	110
Уксусная кислота ледяная, мл	5
Соляная кислота, мл	5

Обработка листа пигментной бумаги в растворе 1 длится 3 мин, затем ее вынимают, дают возможность стечь каплям раствора и переносят на 15—30 с в раствор 2. При обработке светочувствительной бумаги в этом растворе в течение 30 с получается мягкое изображение, а в течение 15 с — более контрастное. После стекания со светочувствительной бумаги остатков раствора 2 ее прикатывают к подготовленному на стекле отпечатку и выдерживают их в контакте в течение 15 мин. В это время готовят лист обычной необработанной бумаги для переноса на него изображения. Для этого бумагу размачивают 3 мин в холодной воде. По истечении 15 мин пигментную бумагу осторожно снимают за уголок, а из воды извлекают подготовленный лист бумаги; их совмещают, прикатывают резиновым валиком и помещают между листами фильтровальной бумаги. После выдерживания в течение 12 мин листы переносят в теплую воду для получения изображения способом карбро. Для получения повторных копий (отпечатков на бромосеребряной фотобумаге) отбеленное в озобромном растворе (или растворе карбро) фотонизображение после короткой промывки требуется восстановить, затем снова промыть и высушить.

ГЛАВА XI

НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ОБОРУДОВАНИЕ ФОТОЛАБОРАТОРИЙ

§ 1. ДИФфуЗИОННЫЙ ПРОЦЕСС

Все более широкое распространение получают одноступенчатые диффузионные способы получения фотоизображений. В диффузионном черно-белом процессе серебро, строящее негативное изображение, остается после обработки на фотоматериале, на который производилась съемка, а оставшееся галогенидное серебро переходит (диффундирует) в приемный слой специальной бумаги, прижатой к негативу, где восстанавливается и дает позитивное изображение. В этом процессе отсутствуют операции длительной мокрой лабораторной обработки, что обеспечивает сокращение времени получения черно-белого позитива до 10 и цветного позитива до 50 с.

Опишем принцип получения черно-белого изображения на примере комплекта «Момент» и фотоаппарата «Фотон».

Сразу же после съемки негативный материал 1 (рис. 150) и нечувствительная бумага 8, содержащая в приемном слое мельчайшие частички металлического серебра, протягиваются между двумя валиками 6 в обрабатывающую камеру 5. При этом разрушается бумажная ампула 7, вклеенная между кадрами, и заполняющая ее проявляюще-фиксирующая паста равномерно распределяется между негативным и позитивным материалами. Под действием пасты происходит проявление негативного изображения в негативном материале. На участках, где при съемке свет не подействовал, проявления не происходит и галогенное серебро на них растворяется пастой и диффундирует в приемный слой бумаги, где восстанавливается до металлического на коллоидных частичках металлического серебра и дает позитивное изображение. Затем негатив 3 отделяют от позитива 4. На рисунке показаны также объектив 9, покадровый фиксатор 2 и прижимной столик 10.

В цветном одноступенчатом диффузионном процессе применяется специальный негативный материал, имеющий весьма сложное мозаичное строение (рис. 151). При его изготовлении на структурную основу 1 специальными устройствами наносят в виде пересекающихся и выходящих на поверхность дорожек фотослой: красночувствительный 2, зеленочувствительный 3 и синечувствительный 4. К каждому из этих слоев примыкают вспомогательные слои соответственно с голубым, пурпурным и желтым диффундирующими, т. е. переходящими на другие поверхности, красителями при контакте с ними. В то же время из слоя эти красители не диффундируют благодаря специальным прослойкам, имеющимся между слоями. В связи с тем что процесс проявления может идти только в щелочной среде, в слоях имеются очень мелкие капсулки со щелочной пастой.

Отдельные элементы мозаики настолько малы, что на получаемом изображении его клетчатое строение незаметно. Этому также способствует диффузность красителей. Благодаря боковой диффузии они при попадании на приемный слой бу-

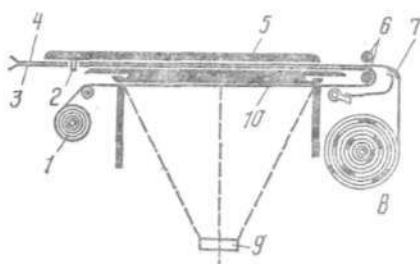


Рис. 150. Схема получения фотоизображения на комплексе «Момент»

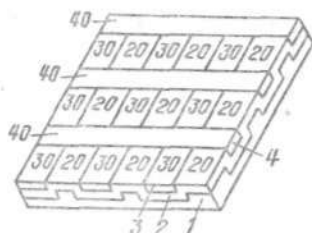


Рис. 151. Строение негативного материала для цветного диффузионного фотопроецесса

маги сливаются. В результате изображение имеет ровную окраску с плавными цветовыми и светотеневыми переходами.

Как и в черно-белом комплекте, в состав цветного комплекта входит бумага с приемным слоем и ампулами с обрабатывающей пастой. После съемки и протягивания негатива и бумаги между валиками фотоаппарата ампула разрушается и обрабатывающая паста распределяется между мозаичным фотослоем негативного материала и приемным слоем фотобумаги по принципу, показанному на рисунке. Одновременно в самих слоях разрушаются мелкие капсулки со щелочной пастой. Все это обеспечивает восстановление галогенида серебра в металлическое серебро на участках, где при съемке на негативный материал подействовал свет. Одновременно на этих участках диффундирующие красители превращаются в недиффундирующие, т. е. неспособные к окрашиванию приемного слоя. В приемном слое содержится кислота, обеспечивающая прерывание процесса проявления при проникании в него пасты с красителем.

Воспроизведение цветов можно пояснить следующими примерами. Предположим, что сфотографирован зеленый предмет. При этом в зеленочувствительном мозаичном слое негативного материала образуется скрытое изображение. В процессе проявления в слое восстанавливается металлическое серебро и пурпурный диффундирующий краситель превращается в недиффундирующий. При контакте с приемным слоем бумаги в него из негативного материала перейдут оставшиеся диффундирующие желтый и голубой красители, воспроизводящие вместе зеленый цвет. При съемке желтого предмета скрытое изображение образуется одновременно в зеленочувствительном и красочувствительном слоях негативного материала. В результате проявления в них восстанавливается металлическое серебро и диффундирующие пурпурный и голубой красители переходят в недиффундирующие. При контакте негатива с фотобумагой в приемный слой перейдет только желтый краситель, т. е. желтый цвет объекта съемки воспроизведется. Все другие цвета образуются по аналогичному принципу.

Фотоаппараты, работающие с фотоматериалами одноступенчатого диффузионного процесса, используют для моментальной любительской съемки, репродукционных работ, макросъемки и др. Получили распространение специальные фотоаппараты для съемки цветных портретных фотографий на различные удостоверения. Выпускаются специальные кассеты, позволяющие использовать фотоматериалы одноступенчатого процесса в фотоаппаратах, рассчитанных на применение обычных форматных светочувствительных материалов. В некоторых модификациях процесса может быть получен не только позитив, но и годный для печати негатив.

§ 2. ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ

Электрофотография — процесс получения изображений на материалах с равномерно заряженным до высокого электрического потенциала тонким полупровод-

никовым слоем, теряющим заряд на участках, где при экспонировании на слой действовал свет. Электрофотография (бес-серебряный процесс) стала одним из наиболее простых и экономичных способов размножения технической документации, она обеспечивает быстрое получение изображений в рентгентехнике, промышленной дефектоскопии.

Электрофотография применяется для изготовления полиграфических офсетных форм, для размножения графических материалов на офсетных машинах. Современная техника использует электрофотографию для скоростной фиксации данных, получаемых на электронных вычислительных и информационно-логических машинах.

Основой для электрофотографического материала служат пластины из стекла или металлов (например, алюминия). Наносимый на основу светочувствительный полупроводниковый слой представляет собой напыленное в вакууме светочувствительное вещество (селен) или нанесенную диспергированием синтетическую либо естественную смолу, изоляционный лак, клеей со светочувствительным веществом — окисью цинка. Могут быть использованы многие другие полупроводниковые светочувствительные вещества (в том числе органические), имеющие высокое темновое сопротивление, т. е. обеспечивающие сохранение заряда на поверхности электрофотографической пластины достаточно длительное время. Для съемки полутонных оригиналов применяют пластины с полупроводниковым светочувствительным слоем толщиной 1—5 мкм, штриховых оригиналов — 10 мкм и более. Максимум спектральной чувствительности таких слоев лежит в сине-фиолетовой области спектра. Для расширения этой зоны электрофотографические слои подвергают оптической сенсibilизации (например, теллуrom). Благодаря этому значительно повышается и общая светочувствительность слоя (до 5—7 ед. ГОСТ).

Перед съемкой пластину с полупроводниковым слоем очуствляют, т. е. заряжают при неактивном освещении путем протягивания под коронирующими электродами, состоящими из нескольких проволочек или игл (рис. 152, а). В результате поверхность пластины получает равномерный заряд с потенциалом около 300 В (рис. 152, б). При экспонировании на участках, где действовал свет, электроны полупроводникового слоя возбуждаются, что вызывает повышение электропроводности и снижение потенциала пропорционально количеству полученной световой энергии. Таким образом на пластине образуется электростатическое скрытое изображение (рис. 152, в). Экспонированную пластину обычно проявляют путем распыления каскадных электрографических проявителей, состоящих из смеси смол и красящих пигментов, нанесенных на мелкие стеклянные шарики-носители (рис. 152, г). Проявление распылением (или сухое проявление) называется ксерографией (от греческого

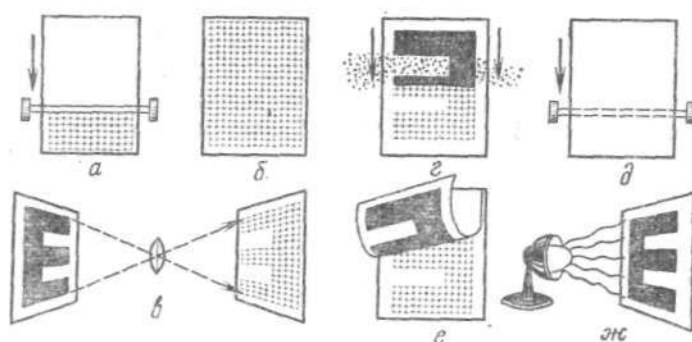


Рис. 152. Схема электрофотографического процесса

слова «ксерокс» — сухой). Частицы красителя предварительно заряжают до определенного потенциала. При этом они должны нести заряд, противоположный по знаку заряду скрытого изображения на пластине. Иногда применяют также способ так называемого мокрого, или жидкостного, проявления скрытого изображения в суспензиях пигмента в жидком диэлектрике (бензин, фреон, бензол и др.). Полученное на пластине порошковое изображение переносят на новую подложку, например бумагу. При этом бумагу накладывают на пластину и протягивают под коронирующими электродами, со-

общающими бумаге заряд, противоположный по знаку заряду пигментного проявителя (рис. 152, д). Для этого можно использовать зарядное устройство, применяемое для очувствления пластины. После переноса изображения бумагу отделяют от пластины (рис. 152, е). При этом с пластины может быть получено несколько отпечатков. Порошковое изображение закрепляют термическим способом путем нагревания до температуры $120-150^{\circ}\text{C}$, что приводит к расплавлению красителя и прочному сцеплению его с бумагой (рис. 152, ж). Изображение можно также закреплять химическим способом парами растворителя (ацетон, этиловый спирт, бутилацетат, трихлорэтилен и др.). Иногда применяют специальные бумаги с клейким покрытием. Изображение в зависимости от вида проявителя может быть черного, красного, синего, желтого или другого цвета.

Снимать объект можно непосредственно на электрофотографическую бумагу, содержа-

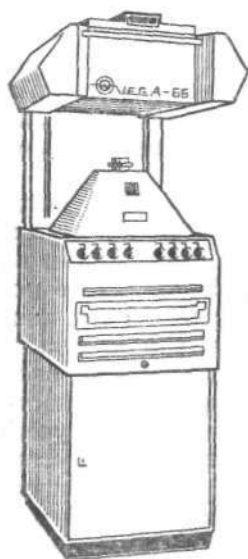


Рис. 153. Электрографический аппарат «Вега-66»

шую в поверхностном слое окись цинка. Отечественная промышленность выпускает несенсибилизированные и сенсибилизированные эозином электрофотобумаги.

Для получения многоцветного изображения требуется предварительно изготовить с оригинала три цветоделенных изображения, затем снять каждое из них на отдельные электрофотографические пластины, проявить каждую цветными электрофотопроявителями и перенести эти изображения на бумагу. В случае съемки непосредственно на электрофотобумагу ощущение ее, съемку, цветное проявление и закрепление изображений проводят поочередно три раза.

Практическое распространение получили электрофотографические аппараты двух моделей: плоскостные, в которых применяют селеновые пластины (аппараты «Эра», «Вега», «Электрофот» и др.), и ротационные, в которых применяют селеновые барабаны (аппараты РЭМ-300К, ЭФКА-1М, РЭМ-420/600 и др.).

На рис. 153 показан вертикальный плоскостной электрофотографический аппарат «Вега-66», предназначенный для копирования чертежей, штриховых рисунков, журналов, книг, машинописного и рукописного текста, а также полутонных изображений размером до 297×420 мм. Масштаб изображения 1:1. Копии получают на бумаге любого сорта и плотности, а также на кальке. Аппарат представляет собой вертикальную репродукционную установку, в верхней части которой расположен экран для оригинала, освещаемого четырьмя люминесцентными лампами. Можно также получать увеличенные копии с 35-миллиметровых микрофильмов.

§ 3. ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЕ И ВЕЗИКУЛЯРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Термографические процессы.

Термография — процессы получения изображений на специальных термочувствительных материалах с помощью инфракрасных лучей. Этими способами можно изготовить в течение нескольких секунд копии с чертежей, печатных текстов, записей и рисунков, выполненных тушью или карандашом. Основное требование к оригиналу — изображение должно содержать графит, сажу или металл и не отражать тепловые лучи. Оригинал может быть непрозрачным, прозрачным, односторонним или двусторонним. Термографические процессы делятся на термохимические (прямые) и термопластические (косвенные).

Промышленность выпускает специальные бумаги для прямых и косвенных способов термографии. Первые материалы называются термореактивными, а вторые — термокопировальными.

Прямые способы позволяют получить изображение непосредственно на термореактивной бумаге. Один из таких способов известен под названием термокопир. В термореактивной бумаге под действием тепла происходит химическая реакция между бесцветными соединениями, входящими в состав слоя.

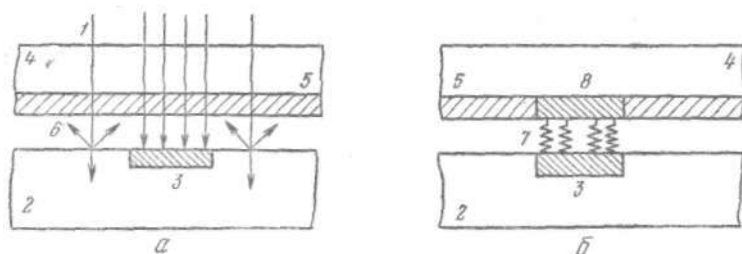


Рис. 154. Получение бессеребряного изображения на термореактивной бумаге:
а — первая стадия воздействия инфракрасных лучей; б — результат — получение копии

В результате этого образуется окрашенное соединение, дающее видимое изображение. Основными химическими веществами, входящими в состав термореактивного слоя и дающими окрашенное изображение, являются стеариновое железо и пирокатехин. При нагревании первое из этих веществ плавится и, диссоциируя, выделяет свободные ионы трехвалентного железа, которые в результате реакции с пирокатехином образуют окрашенное почти в черный цвет химическое соединение. Принцип получения изображения следующий. Инфракрасные лучи 1 (рис. 154, а) от источника света попадают на воспроизводимый оригинал 2 с изображением 3. В контакте с оригиналом находится термореактивная бумага 4 с термочувствительным слоем 5. Светлые участки оригинала 6 отражают падающие на них лучи, что не оказывает действия на прилегающий термочувствительный слой. Участки изображения 3 (рис. 154, б) поглощают тепло, что вызывает местное нагревание 7, которое действует на прилегающие участки 8 термочувствительного слоя. На этих участках образуется видимое изображение, т. е. получается копия оригинала.

Косвенные способы термографии обеспечивают получение изображения на обычной бумаге путем переноса его с термокопировальной бумаги. Тепловые лучи вызывают в термочувствительном слое не химическое, а физическое изменение, выражающееся в плавлении под действием тепла участков, соответствующих изображению. Эти расплавленные окрашенные участки переходят на обычную бумагу. В качестве чувствительного к инфракрасным лучам и плавкого вещества используют специальные марки воска (карнаубский, ромонтан, этерифицированный и др.) с красящим веществом и другими вспомогательными компонентами. Подлежащий воспроизведению оригинал 1 (рис. 155, а) с участками изображения 2 плотно совмещают с термокопировальной бумагой 3, имеющей главное покрытие 4. Внизу помещают бумагу, на которой требуется получить копию. Плотный контакт между оригиналом, термо-

копировальной бумагой и бумагой для получения копии обеспечивается прижимом или вакуумом. Под участками изображения 2 (рис. 155, б) под действием инфракрасных лучей происходит местное нагревание, передающееся на лежащие под ними участки 6 плавкого покрытия 4. Эти участки, расплавляясь, переходят на бумагу 5. При отделении этой бумаги на ней остается изображение 7 (рис. 155, в), соответствующее оригиналу.

Промышленность выпускает термокопировальные аппараты типа «Молния» и ТЕКА.

Везикулярный процесс. Этот процесс основан на применении термопластических полимерных материалов со светочувствительным веществом. В результате экспонирования и тепловой обработки на участках светочувствительного материала, где подействовал свет, образуются микроскопические пузырьки диаметром до 5 мкм, вызывающие рассеяние света. Диапозитив или кинофильм, отпечатанный на везикулярном материале, дает при проецировании на экран изображение, не уступающее по качеству изображению на галогенидосеребряных слоях.

Везикулярный бессеребряный материал состоит из прозрачной подложки со слоем термопластического полимера, содержащего светочувствительное вещество. Этот материал экспонируют ультрафиолетовым светом, под действием которого в светочувствительном слое происходит химическое разложение светочувствительного вещества с выделением газа. В частности, при использовании в качестве светочувствительного вещества диазосоединения выделяется азот. Образовавшееся при экспонировании скрытое изображение, состоящее из микроскопических газов, неустойчиво, так как полимерный слой не может удерживать газ длительное время. Поэтому непосредственно после экспонирования везикулярный материал проявляют нагреванием. Под действием тепла полимер размягчается и газ, расширяясь в

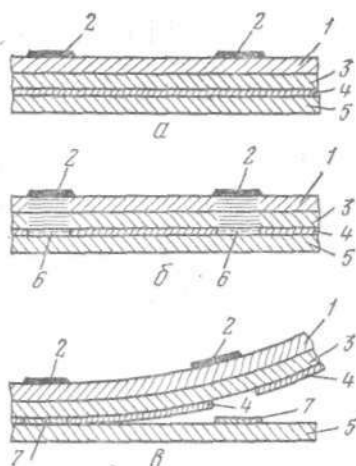


Рис. 155. Получение бессеребряного изображения на термокопировальной бумаге:

а — сложенные вместе оригинал, термокопировальная и обычная бумаги; б — воздействие инфракрасным светом; в — отделение бумаги с перенесенным на нее изображением

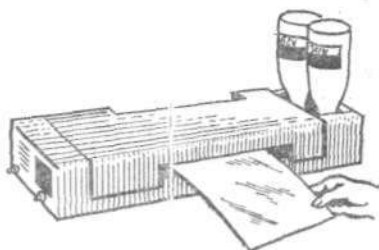


Рис. 156. Двухкамерный проявочный прибор «Пентакон» (ГДР)

образовавшихся полостях полимера, соединяется в пузырьки, по размерам превышающие первичные микроскопические центры проявления. В результате теплового проявления скрытое изображение становится видимым. Для фиксирования (удаления непрореагировавшего светочувствительного вещества) изображения светочувствительный материал подвергают общей засветке ультрафиолетовым светом и выдерживают некоторое время до выхода образовавшегося газа.

§ 4. ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ФОТОМАТЕРИАЛАХ С ПРОЯВЛЯЮЩИМ ВЕЩЕСТВОМ В ЭМУЛЬСИОННОМ СЛОЕ

Фотоматериалы (серебро-содержащие), содержащие проявляющее вещество, значительно быстрее и проще поддаются химико-фотографической обработке. Было предположено вводить в фотослой гидрохинон, пирокатехин, фенидон и другие проявляющие вещества. Такие фотоматериалы могут быть использованы как для съемки, так и для печати. Существует несколько способов проявления фотоматериалов, содержащих проявляющее вещество: в активирующем высокощелочном растворе с сульфитом натрия и другими вспомогательными веществами, в парах аммиака, нагреванием на металлической поверхности (термическое проявление) и др. Стабилизация (закрепление) изображения может быть достигнута при переводе оставшегося в слое бромистого серебра в более стойкое к действию света иодистое серебро путем обработки фотоматериала соединениями иода. Для стабилизации фотоматериал можно обрабатывать парами соляной кислоты; на него можно также нанести тонкий защитный слой парафина.

Наибольшее практическое применение нашли фотобумаги, содержащие проявляющее вещество. Для обработки этих фотобумаг имеются специальные настольные двухрастворные приборы. Прибор «Пентакон» (ГДР) имеет две ванны-кюветы, в которые поступают по мере уноса обрабатываемой фотобумагой активизирующий А-190 и стабилизирующий А-290 растворы, вытекающие из двух однолитровых пластмассовых бутылей (рис. 156). Экспонированную фотобумагу вставляют в паз на боковой стенке прибора. Фотобумага захватывается вращающимися от электродвигателя валиками и попадает в ванны с активизирующим и стабилизирующим растворами. На выходе из прибора в верхней части установлены два отжимающих валика, которые удаляют раствор из проявленного отпечатка. Общая продолжительность обработки фотобумаги в двухрастворном приборе 10 с.

Фотобумаги и двухрастворные приборы рассчитаны на фотозумножение графических и текстовых материалов, а также на печать репортажных, любительских, полутоновых технических и других снимков.

§ 5. ОБОРУДОВАНИЕ КРУПНЫХ ФОТОЛАБОРАТОРИЙ

Для профессиональных фотопредприятий разрабатывается механизированное и автоматизированное оборудование, позволяющее сократить количество ручных операций, ускорить и удешевить лабораторные фотопроцессы.

Проявочные машины для химико-фотографической обработки фотопленок. Для обработки фотопленок обычно используют машины с подъемными рамами, скобами или спиралями. Перед обработкой фотопленки наматывают на эти рамы, подвешивают на скобы или заряжают в спираль, после чего они по заданной программе автоматически передаются из одного рабочего бака машины в другой. В проявочных машинах на рамах и скобах могут обрабатываться как рулонные, так и форматные фотопленки, в спиралях — только рулонные.

Из бака в бак фотопленки передаются с помощью специальной горизонтальной транспортирующей рамы, гребенки или передаточного кронштейна. Транспортирующее приспособление через заданные промежутки времени поднимается вверх, захватывает скобы, рамы или спирали с фотопленкой, перемещает их на небольшое расстояние и, опустившись, погружает в следующий бак. Проявочные машины имеют специальные устройства, периодически подающие в рабочие растворы регенерирующие добавки и поддерживающие постоянную температуру растворов, перемешивающие растворы в баках и подающие световой или звуковой сигнал при различных неполадках в машине или окончании процесса обработки фотопленки.

Проявочные машины с подъемными рамами и скобами (рис. 157) обычно монтируют в помещении, состоящем из двух комнат: темной и светлой. В темной комнате заряжают

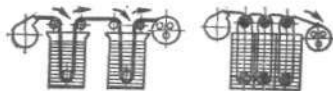
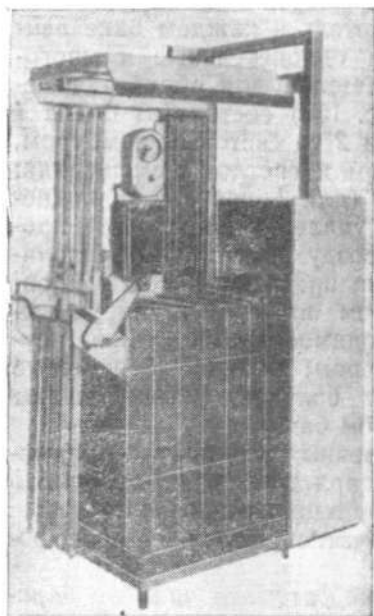
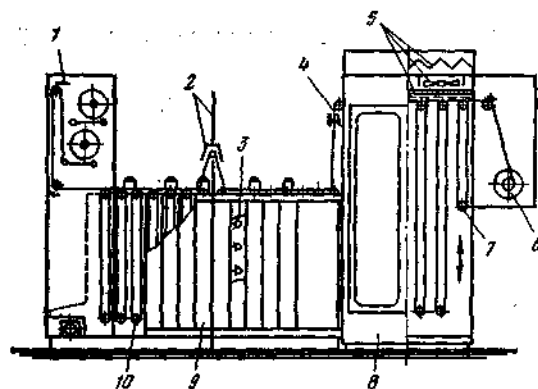


Рис. 158. Схемы однопетельного и многопетельного механизмов

← Рис. 157. Проявочная машина «Фибро»

Рис. 159. Схема проявочной машины непрерывного действия



фотопленки на рамы и проводят первые этапы обработки. Затем фотопленка автоматически опускается в передаточный бак и оттуда попадает в баки, установленные в светлом помещении. После окончательной промывки фотопленка поступает в сушильный шкаф.

Для обработки фотопленок иногда применяют *машины непрерывного действия*. Лентопротяжный механизм таких машин представляет собой систему роликов, установленных над баками и на их дне. Перед пуском машины на эти ролики запрягают специальную ленту (ракорд), к концу которой прикрепляют начало ролика пленки. Ракорд, двигаясь по системе роликов, направляет за собой пленку через баки проявочной машины. По количеству роликов и петель в каждом баке лентопротяжные механизмы делятся на однопетельные и многопетельные (рис. 158). Проявочная машина для обработки негативных и обрабатываемых пленок (рис. 159) состоит из блока 1 с подающими кассетами; перегородки 2 со световым тамбуром, разделяющей части машины в темном и светлом помещениях; бака 3 с засвечивающими лампами (для обработки обрабатываемых пленок); каплесдувателя 4 для удаления воды после промывки; вентиляционного узла 5 с воздухофильтром, вентилятором и нагревательными элементами; приемной кассеты 6; ролика 7 нижнего баланса в сушильном шкафу (регулируя высоту баланса, устанавливают необходимое время сушки); сушильного шкафа 8; бака 9 с раствором; ролика 10 нижнего баланса в баке (регулируя высоту баланса, устанавливают необходимое время обработки в данном баке).

Продвижение фотопленки в проявочных машинах непрерывного действия осуществляется благодаря трению фотопленки о рабочие пояски ведущих роликов (фрикционный способ) или с помощью специальных роликов с зубчаткой, входящей в перфорационные отверстия фотопленки.

Проявочные машины с обработкой фотоматериала на бара-

бане или внутри него имеют специальный цилиндр (барабан), вращающийся в резервуаре, в котором по заданной программе в зависимости от вида обработки автоматически меняются растворы, производятся промежуточные и окончательная промывки. Обработываемый фотоматериал вращается вместе с барабаном, что обеспечивает его равномерное проявление. Вместо барабана в такую машину могут быть заряжены спиральные вкладыши для обработки катушечных фотопленок.

Под проявочном резервуаром расположены баки с растворами. Резервуар имеет крышку, в которую вмонтированы люминесцентные лампы для второй экспозиции при обработке обрабатываемых пленок. Справа расположен пульт управления работой машины с кассетой для перфокарты, на которую наносят программу обработки того или иного типа фотоматериала.

Преимуществом машин с обработкой фотоматериала на барабане является возможность обработки крупноформатных фотопленок и фотобумаг.

Автоматы для фотографической печати. Одним из простейших автоматизированных приборов для печати является *автоматическая копировальная рамка*, работающая в комплекте с фотоувеличителем. В плоскости экрана такой рамки или над экраном устанавливается фотоэлемент, включенный в цепь запоминающего устройства (накопителя), вмонтированного в ее корпус. Пройдя через фотобумагу или отразившись от ее поверхности, часть света от фотоувеличителя попадает на фотоэлемент.

Принцип электронного управления экспозиций при черно-белой печати состоит в следующем. Свет, попадая на фотоэлемент, в зависимости от освещенности образует в нем больший или меньший ток, который заряжает накопитель, состоящий из переменного сопротивления и конденсатора. Время полной зарядки конденсатора, а следовательно, и продолжительность экспонирования регулируют поворотом ручки сопротивления. В момент полной зарядки накопитель автоматически через реле управления отключает лампу фотоувеличителя. Перед началом работы опытным путем предварительно подбирают исходное время экспонирования по одному из типичных для выполняемого заказа негативов. Затем при установке другого негатива рамка (рис. 160) автоматически даст необходимую экспозицию в зависимости от его плотности.

Приборы, рассчитанные на использование рулонной фотобумаги, имеют более сложное устройство, так как в них помимо описанных узлов устанавливаются также устройства, с помощью которых регулируется контрастность позитивного изображения. Существует два основных направления в решении вопросов изменения контрастности изображения при печати с разных негативов.

Одно из направлений — применение многослойной сенсibilизированной фотобумаги. Печатают на такой фотобумаге через

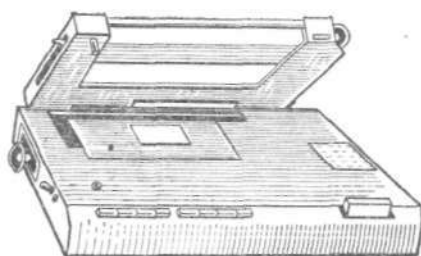


Рис. 160. Автоматическая копирующая рамка

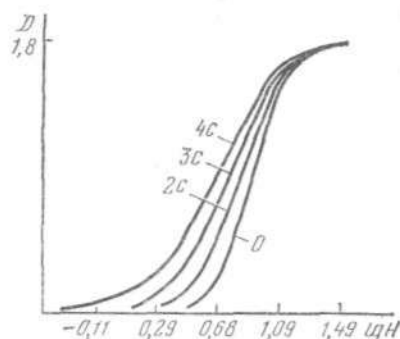


Рис. 161. Изменение контрастности фотобумаги с переменным контрастом при предварительной засветке от 0 до 4 с

светофильтры. Например, нормальное изображение получают при печати без фильтра, мягкое — за желтым и контрастное — за пурпурным светофильтром.

Другое направление — изменение контрастности позитивного изображения путем предварительной очень слабой общей экспозиции на нижнем пределе появления вуали. Применяя контрастную фотобумагу и меняя величину предварительной общей экспозиции, изменяют контрастность получаемого изображения: от контрастного до полумягкого.

На рис. 161 приведены характеристические кривые фотобумаги с переменным контрастом, которые показывают, как изменяется контрастность изображения при предварительной засветке светом малой интенсивности (0,6 лк) от 0 до 4 с. При печати на фотобумаге с переменным контрастом после предварительной засветки проводится основное экспонирование и химико-фотографическая обработка фотобумаги.

Промышленность выпускает фотобумагу «Поликонтраст», позволяющую изменять контрастность изображения путем предварительной засветки. К специальным приборам, рассчитанным на работу этой фотобумаги, относится приставка к фотоувеличителю ПКУ. Приставка может работать в комплекте с фотоувеличителем «Беларусь-5» или другим с размером экрана 45×45 см. При печати может использоваться рулонная фотобумага шириной 76, 89, 108, 127 и 178 мм и длиной до 60 м. Приставка имеет два фонаря предварительной засветки, расположенные над ее кадровым окном. С каждого негатива можно печатать по одному снимку. В зависимости от контрастности негатива ручкой «Засветка» на пульте приставки устанавливают или иную величину предварительной засветки — от 0,5 до 5 с. Затем нажимают на кнопку «Пуск». Приставка дает установленную засветку и потом в зависимости от оптической плот-

ности негатива автоматически обрабатывает необходимую экспозицию. Специальное устройство осуществляет маркировку конвертов и снимков четырехзначным числом. В приборе имеется приспособление автоматической разметки фотобумаги для последующей резки снимков из рулона на заданный формат.

В лабораториях с большими объемами работ устанавливают высокопроизводительные печатающие автоматы — *принтеры*. Оптическая схема принтера напоминает перевернутый фотоувеличитель (негатив подсвечивается снизу). Рулон фотобумаги перематывается с подающей 1 (рис. 162) на приемную 2 кассету. Свет от осветительной лампы 3 отражается специальным зеркалом 4 на негатив 5. Его изображение проецируется объективом 6 на фотобумагу, проходя через затвор 8. Часть света отражается полупрозрачным зеркалом 7 на управляющий фотоэлемент 10. В основу способа управления экспозицией положен принцип работы автоматической копировальной рамки. В приборе имеется специальная лампа 9 для предварительной засветки, нож-пробойник 11 для нанесения сигнальных надсечек между кадрами для последующей автоматической обрезки рулона и штемпель 12, отмечающий на обратной стороне отпечатков номер заказа, шифр исполнителя и другие данные. Печать происходит при нажатии на ножную педаль или на кнопочный включатель. По окончании работы кассету снимают с принтера и устанавливают на проявочную машину.

Принтеры могут работать в светлом помещении. В них используются два-три вида различных по ширине рулонов фотобумаги (76, 89, 105 или 108 и 127 мм). Изменение масштаба изображения фиксированное или плавное. Принтеры с фиксированным (скачковым) изменением масштаба имеют в своем

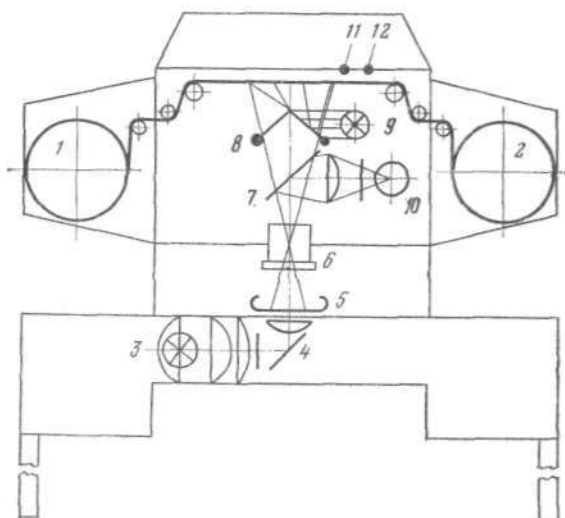


Рис. 162. Схема принтера для получения черно-белых позитивов

комплекте несколько сменных объективов (каждый на один определенный коэффициент увеличения).

Размеры используемых в принтерах «Пентакон» (ГДР) негативов и получаемых изображений

Размер негативов, мм	Размер отпечатков, мм	Ширина рулонов фото-бумаги, мм	Размер негативов, мм	Размер отпечатков, мм	Ширина рулонов фото-бумаги, мм
60×90	$\begin{cases} 105 \times 148 \\ 89 \times 127 \\ 76 \times 105 \end{cases}$	$\begin{cases} 105 \\ 89 \\ 76 \end{cases}$	24×36	$\begin{cases} 105 \times 148 \\ 89 \times 127 \\ 76 \times 105 \end{cases}$	$\begin{cases} 105 \\ 89 \\ 76 \end{cases}$
60×60	$\begin{cases} 105 \times 105 \\ 89 \times 89 \\ 76 \times 74 \end{cases}$	$\begin{cases} 105 \\ 89 \\ 76 \end{cases}$	24×24	$\begin{cases} 105 \times 105 \\ 89 \times 89 \\ 76 \times 74 \end{cases}$	$\begin{cases} 105 \\ 89 \\ 76 \end{cases}$
45×60	76×105	76	18×24	76×105	76

В связи с тем что цветные фотоматериалы имеют три светочувствительных слоя, в принтерах для цветной печати устанавливаются три накопителя.

Принцип подготовки к работе при всех существующих автоматических системах одинаков. Сначала путем подбора по одному из негативов, типичному для данного вида работ, делают цветовую настройку, а затем при замене негатива с помощью фотоэлементов, накопителей и светофильтров определяют особенности электронного устройства и дают необходимую экспозицию для каждого слоя фотобумаги.

В приборе «Беаматик-колор-11» (ГДР) использован аддитивный принцип цветокорректировки с помощью последовательной печати за синим, зеленым и красным светофильтрами. В момент перестановки светофильтров лампа 5 (рис. 163) увеличивает автоматически отключается. Принцип работы приставки заключается в следующем. Свет от лампы фотоувеличителя проходит через конденсатор 6 и попадает на негатив 7. Его изображение проецируется объективом 8 на фотобумагу 1. Между объективом и фотобумагой установлены сменяемые светофильтры 4. Отразившийся от поверхности фотобумаги свет попадает на фотоэлемент 2, включенный в цепь каналов управления (накопителей 3). Сначала фотобумага экспонируется за синим светофильтром. Как только канал управления этим светом зарядится, лампа отключается, синий светофильтр автоматически убирается и устанавливается зеленый. После экспонирования за зеленым светофильтром устанавливается красный. Такое раздельное трехкратное экспонирование заметно снижает производительность.

Этот недостаток устранен в принтерах, рассчитанных на одновременное экспонирование сразу за тремя светофильтрами. В таких приборах имеется три лампы 12 (рис. 164), свет от которых проходит через синий, зеленый и красный светофильтры 13 и затворы 14, а затем объединяются полупрозрачными зерка-

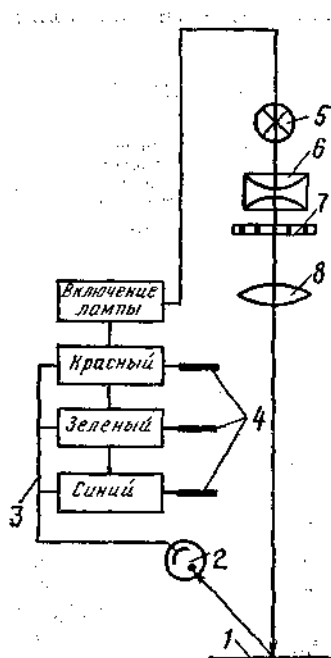


Рис. 163. Схема прибора «Беаматик-колер-11»

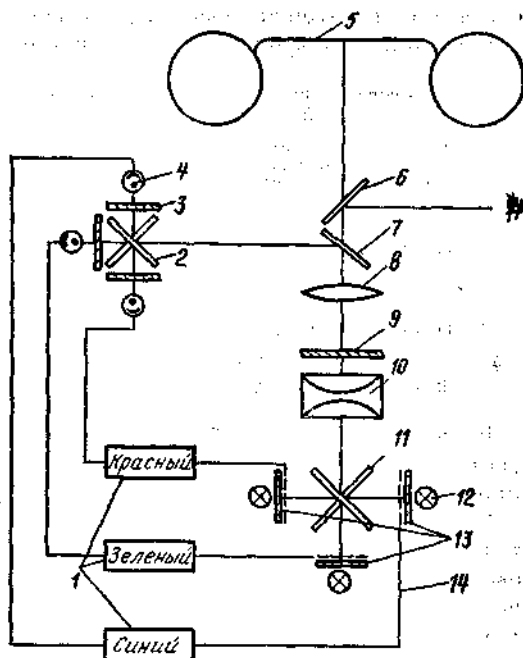


Рис. 164. Схема печатающего прибора-автомата с аддитивной цветокорректировкой

лами 11 в один общий поток и, пройдя через конденсатор 10, попадает на негатив 9. Изображение негатива проецируется объективом 8 на фотобумагу 5. Часть света отклоняется полупрозрачным зеркалом 7 на измерительную систему. Другое зеркало 6 направляет часть света на визирное устройство, с помощью которого производится кадрирование. Измерительная система состоит из двух зеркал 2, распределяющих свет на три фотоэлемента 4 с синим, зеленым и красным светофильтрами 3. Фотоэлементы включены в цепь накопителей 1, управляющих работой затворов, установленных перед лампами. При попадании света в фотоэлементах образуется фототок, пропорциональный интенсивности излучений. Например, если при экспонировании негатив дает преобладание зеленого излучения, то накопитель канала управления зеленым светом зарядится первым до заданного значения и закроет затвор перед лампой с зеленым светофильтром. Если следующим преобладающим светом будет, например, красный, то зарядится канал управления этим излучением и перед лампой с красным светофильтром закроется затвор. После того как закроется третий затвор, фотобумага автоматически передвинется на один кадр, а система автоматики возвратится в исходное рабочее положение.

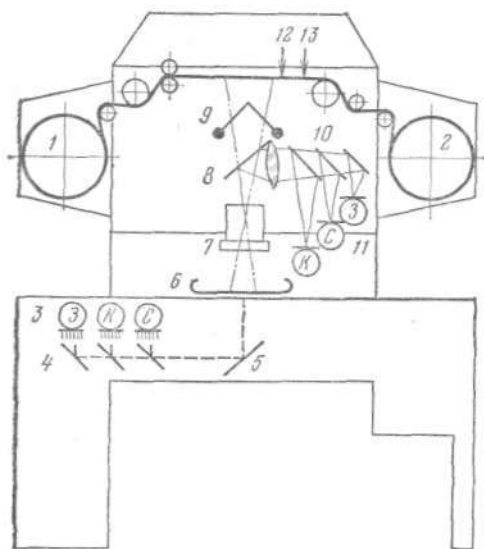


Рис. 165. Схема системы автоматического управления печатающего прибора-автомата «Пентакон-В-302»

пы 1 (рис. 166) проходит через конденсор 2 на негатив 3. Изображение негатива проецируется объективом 5 на фотобумагу 8. На пути света находится полупрозрачное зеркало 6, отклоняющее часть света на измерительную систему. Второе отклоняющее зеркало 7 дает изображение негатива на визирном устройстве. Измерительная система состоит из неподвижного фотоэлемента, установленного внутри быстро вращающегося цилиндра 10. Цилиндр имеет три окошка с синим, зеленым и красным светофильтрами. На оси привода цилиндра находятся контактные кулачки 9, включающие накопитель 11, соответствующий тому светофильтру, который установлен перед фотоэлементом при вращении цилиндра. При включении прибора происходит экспонирование белым светом. Одновременно заряжаются три накопителя. В момент полной зарядки одного из них в ход световых лучей автоматически устанавливается светофильтр 12, задерживающий их. Если, например, первым зарядится канал управления зеленым светом, то в ход лучей войдет пурпурный светофильтр и задержит зеленые лучи. Если следующим зарядится, например, красный накопитель, то включится голубой светофильтр. В момент полной зарядки третьего канала управления синим светом срабатывает желтый светофильтр и одновременно закрывается затвор 4. Фотобумага передвигается на один кадр, а система автоматики возвращается в состояние готовности к новому экспонированию.

На рис. 165 приведена схема системы автоматического управления принтера «Пентакон-В-302» (ГДР), состоящая из подающей кассеты 1, приемной кассеты 2, лампы 3 с синим, зеленым и красным светофильтрами, полупрозрачного смесительного зеркала 4, зеркала 5, негатива 6, объектива 7, затвора 9, полупрозрачных зеркал 8, 10, фотоэлемента 11 с синим, зеленым и красным светофильтрами, сигнального отметчика 12, штемпеля 13.

Принцип работы принтера с субтрактивной цветокоррекцией следующий. Свет от лампы

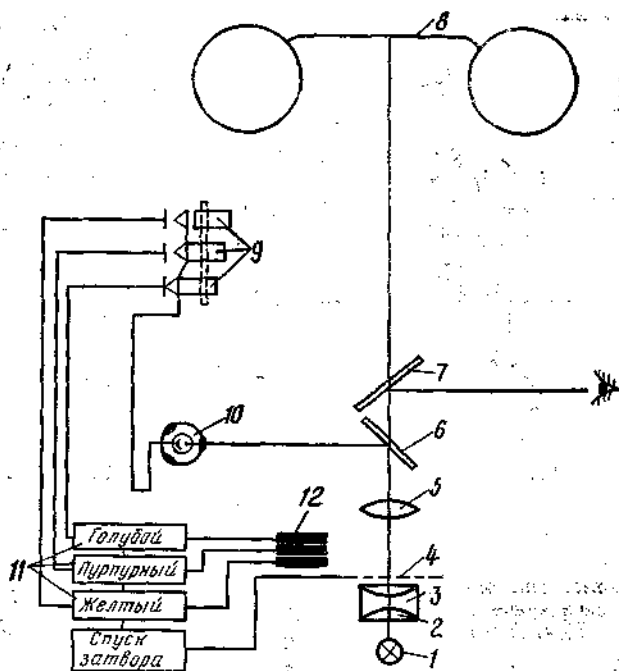


Рис. 166. Схема печатающего автомата с субтрактивной цветокорректировкой

Если негативы имеют значительные отклонения по общей плотности и характер объектов съемки резко различен, то при печати с них требуется дополнительная корректировка, которую проводят с помощью специальных клавиш на пульте прибора. Процессы дополнительной подкорректировки, выбора и установки негатива требуют затрат времени. Это обстоятельство способствовало разработке различных вспомогательных приборов, сокращающих непроизводительные затраты времени и уменьшающих количество производственного брака. Так, наиболее совершенные и производительные принтеры позволяют одновременно с печатью предварительно просматривать до четырех негативов и определять для них поправки в корректуре.

Видеоцветокорректоры и цветоанализаторы. Эти приборы применяются для облегчения цветокорректировки при цветной печати на обычных фотоувеличителях и контактных станках.

Видеоцветокорректоры позволяют обратить цветное негативное изображение в позитивное. На рис. 167 представлена принципиальная схема видеоцветокорректора, построенного на принципе работы телеэпидиаскопаторов, применяемых в телевидении. Источником света в приборе служит растр, создаваемый бегущим электронным лучом на экране кинескопа 1. Изображение растра отражается зеркалом 2 и проецируется объективом 3 на негатив 4. Луч, образующий растр, пробегает последовательно участок за участком негатива, чем обеспечивается

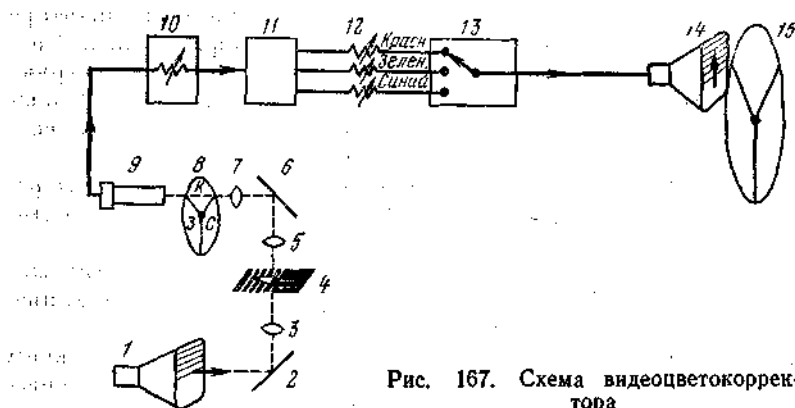


Рис. 167. Схема видеокорректора

разложение изображения во времени. Проходя через негатив, свет проецируется сначала линзой 5 на зеркало 6 и затем фокусируется другой линзой 7 на электронный фотоумножитель 9. В каждый данный момент времени сила света, попадающего на фотоумножитель, и электрического сигнала, образующегося на его выходе, пропорциональны оптической плотности негатива в освещаемой бегущим лучом точке. Для получения цветного изображения в приборе применена поочередная система цветного телевидения. Перед фотоумножителем вращается диск 8 с красным, зеленым и синим светофильтрами. При этом каждый светофильтр перекрывает фотоумножитель в течение времени, необходимого для полного прохождения луча по всей площади негатива. Таким образом, сложное цветное изображение делится последовательно на три одноцветных. Принятый с фотоумножителя сигнал поступает на регулятор 10 общей плотности, а затем на инвертор 11, оборачивающий негативное изображение в позитивное. Далее следует регулятор 12 красного, зеленого и синего сигналов для цветовой коррекции. Затем сигнал поступает на мультипликатор 13, обеспечивающий последовательное переключение трех каналов, и после этого подается на управляющий электрод черно-белого кинескопа 14. Перед экраном кинескопа вращается диск (барабан) 15 со светофильтрами. Диски перед кинескопом и фотоумножителем вращаются синхронно и синфазно. Благодаря этому цветоделенные изображения складываются зрительным анализатором в многоцветное изображение.

Цветоанализаторы выпускают как в виде самостоятельных приборов, так и в виде приставок к фотоувеличителям. Одни цветоанализаторы рассчитаны на определение требующихся для печати корректирующих светофильтров и времени экспонирования по результатам измерения интегральных цветных плотностей негатива по всей его площади, другие — по результатам измерения ограниченного, сюжетно важного участка негатива.

Для измерений негатив вставляют в рамку цветоанализатора между осветителем и фоторезисторами со светофильтрами. Значение требующихся для печати с данного негатива корректирующих желтого и пурпурного светофильтров получают на вращающихся шкалах, а время экспонирования — на шкале стрелочного прибора.

В цветоанализаторах-приставках фотоэлемент при измерениях устанавливают непосредственно под объективом фотоувеличителя и откидывают в сторону при печати.

Проявочные машины для обработки фотобумаг. В этих машинах применяется несколько типов лентопротяжных механизмов, основанных на принципе непрерывного действия.

Проявочные машины для обработки фотобумаг снабжены теми же системами автоматики, что и машины для негативных материалов. Они имеют от двух до четырех самостоятельных дорожек, по каждой из которых может проходить один ролик фотобумаги. В связи с тем что эти машины имеют значительно большую производительность по сравнению с печатающими автоматами, в комплекте с одной проявочной машиной работает от трех до пяти принтеров.

Наибольшее распространение получили проявочные машины с лентопротяжным механизмом в виде бесконечных постоянно зажатых транспортирующих лент и цепей.

Машины с *транспортирующими лентами* имеют валики, установленные над баками с растворами и на их дне. Через эти валики проходят специальные бесконечные ленты, изготовленные из эластичных полимерных материалов. Начало ролика обрабатываемой фотобумаги прикрепляют к одной из этих лент специальным зажимом. Ленты, проходя на нижние валики, опускаются вместе с бумагой в баки с растворами, а затем, поднимаясь на верхние валики, переходят в следующие баки. После окончательной промывки фотобумага попадает на сушильно-глянцевальный барабан, а лента вновь поступает в первый бак проявочной машины.

Проявочные машины с *транспортирующими цепями* напоминают машины с бесконечными лентами. В этих машинах на краях валиков устанавливается зубчатка, через которую проходят две замкнутые цепи. Между звеньями цепей вставляют перемычки, к которым прикрепляют обрабатываемый фотоматериал. Проходя вместе с цепями из одного бака в другой, фотобумага после окончательной промывки подается в сушку, а цепи вновь поступают в первый бак. В проявочных машинах с транспортирующими цепями может обрабатываться рулонная и форматная фотобумага.

Автоматы для резки рулонов фотобумаги на заданные форматы. Эти автоматы входят в комплект автоматизированных линий в виде отдельных приборов. Точная обрезка рулона между отдельными кадрами изображения производится по специальным

сигнальным отметкам, наносимым на рулон в процессе экспонирования в принтере.

Фотографические автоматы. Автоматы позволяют автоматически снимать объект, обрабатывать экспонированный фотоматериал и выдавать готовые фотографии. Получение позитивного изображения основывается, как правило, на принципе обращения негативного изображения в позитивное с использованием обращаемой (реверсивной) фотобумаги. При этом на полоске или листе фотобумаги в зависимости от конструкции автомата получают от одного до девяти снимков. Конструктивно автоматы выполняются в виде кабины, разделенной на две части. В одной из них размещаются кресло и источники съемочного освещения, а в другой, изолированной от света, — фотоаппарат с кассетой, содержащей запас рулонной фотобумаги, баки с химическими растворами и водой, механизмы обрезки экспонированной фотобумаги, транспортирования ее из бака в бак и подачи готового снимка в лоток выдачи.

Список литературы

- Артюшин Л. Ф., Шубина Т. Е. Цветная фотография. М., 1961.
Баршевский Б. У., Иванов Б. Т. Объемная фотография. М., 1970.
Блюмберг И. Б., Редько А. В. Кинетика химико-фотографических процессов обработки кинофотоматериалов. Л., 1978.
Бунимович Д. З., Фомин А. В. Справочник фотографа. М., 1970.
Волосов Д. С. Фотографическая оптика. М., 1978.
Вудхед Г. Творческие методы печати в фотографии. М., 1978.
Горбатов В. А., Тамицкий Э. Д. Фотография. М., 1985.
Закс М. И., Курский Л. Д. Основы светотехники и цветоведения в фотографии. М., 1978.
Закс М. И., Полянская Э. Н. Технология обработки фотокинноматериалов. М., 1983.
Зернов В. А. Фотографическая сенситометрия. М., 1980.
Ильин Р. Фотографирование при естественном освещении. М., 1977.
Иофис Е. А. Кинофотопроецессы и материалы. М., 1980.
Картужанский А. Л. Физические основы фотографического процесса. М., 1965.
Кириллов Н. И. Основы процессов обработки кинофотоматериалов. М., 1977.
Краткий справочник фотолюбителя. Под ред. Н. Д. Панфилова и А. А. Фомина. М., 1982.
Курский Л. Д. Работа фотографа в павильоне. М., 1979.
Микулин В. П. Фотографический рецептурный справочник. М., 1972.
Ошанин С., Танасийчук В. Макросъемка в природе. М., 1973.
Тамицкий Э. Д., Горбатов В. А. Цветная фотография. М., 1979.
Фомин А. В., Закс М. И. Фотоаппаратура и оборудование фотопредприятий службы быта. М., 1980.
Фомин Т. И. Работа фотолаборанта. М., 1974.
Фомин Т. И. Работа фоторетушера. М., 1976.
Царев Б. А. Технология кинофотоматериалов. Л., ЛИКИ, 1972.
Шашлов Б. А. Теория фотографического процесса. М., 1971.

Оглавление

Предисловие 3

Глава I

Фотоаппараты 5

- § 1. Основные этапы фотографического процесса на галогенидах серебра 5
- § 2. Получение оптического изображения в фотоаппарате 7
- § 3. Недостатки оптических систем 10
- § 4. Фотографические объективы 12
- § 5. Основные узлы и механизмы фотоаппаратов 25
- § 6. Классификация фотоаппаратов 43

Глава II

Химическое действие света. Оптическая сенсibilизация и десенсибилизация 49

- § 1. Лучистая энергия света и спектр. Цветовая температура 49
- § 2. Основные законы фотохимии 51
- § 3. Химический фотопроект в кристаллах галогенидо-щелочных солей 53
- § 4. Действие света на галогениды серебра и образование в них скрытого фотоизображения 55
- § 5. Оптическая сенсibilизация и ее виды 57
- § 6. Десенсибилизация, гиперсенсibilизация и латенсификация 61

Глава III

Фотографическая эмульсия 62

- § 1. Общие сведения 62
- § 2. Изготовление основы для фотоматериалов 63
- § 3. Приготовление фотографической эмульсии 67
- § 4. Полиэмульсии на основу 70

Глава IV

Сенситометрия 75

- § 1. Основные понятия и единицы фотометрии 76
- § 2. Общесенситометрическое испытание черно-белых фотоматериалов на прозрачной подложке 78
- § 3. Спектросенситометрическое испытание фотоматериалов. Зернистость фотослоя 94
- § 4. Резольвометрическое испытание черно-белых фотоматериалов. Функция передачи модуляции 96
- § 5. Ореолы рассеяния и отражения. Резкость 97
- § 6. Определение свойств черно-белых фотобумаг 98
- § 7. Сенситометрическое испытание многослойных цветофотографических материалов на прозрачной подложке 100
- § 8. Светофильтры 103

Глава V

Ассортимент и характеристики черно-белых фотоматериалов 107

- § 1. Строение черно-белых фотоматериалов 107
- § 2. Фотоленки 110
- § 3. Фотопластины 113
- § 4. Фотобумаги 114

Глава VI

Фотосъемка 116

- § 1. Освещение при съемке 116
- § 2. Понятие о фотокомпозиции 122
- § 3. Подготовка к съемке 123
- § 4. Определение экспозиции 124
- § 5. Особенности различных видов съемки 130

Глава VII

Негативный черно-белый процесс и процесс с обращением 137

- § 1. Вещества, входящие в состав проявителя 137
- § 2. Понятия о водородном показателе 141
- § 3. Сущность процесса проявления. Рецепт проявителей 143
- § 4. Фотографические свойства проявителя 147
- § 5. Общие сведения об обработке негативных фотоматериалов 150
- § 6. Сущность процесса фиксирования. Проявляюще-фиксирующие растворы 160
- § 7. Общие сведения об обработке черно-белых фотоматериалов способом обращения 162
- § 8. Усиление и ослабление фотографических изображений 164

Глава VIII

Позитивный черно-белый процесс 169

- § 1. Сущность процесса печати с сенситометрической точки зрения. Основные понятия о теории тоновоспроизведения 169
- § 2. Подбор фотобумаги к негативу и экспозиция при печати 173
- § 3. Способы печати позитивных изображений 177
- § 4. Обработка фотобумаг 185
- § 5. Вирирование фотоотпечатков 188

Глава IX

Цветная фотография 191

- § 1. Общие сведения 191
- § 2. Строение цветных фотоматериалов. Схемы получения цветного изображения 194
- § 3. Съемка на цветные фотоматериалы 199
- § 4. Химические основы цветной фотографии. Цветные проявители 203
- § 5. Обработка цветных негативных пленок 208
- § 6. Обработка цветных обрабатываемых пленок 211
- § 7. Цветная фотопечать 213
- § 8. Лабораторная обработка цветной фотобумаги 222

Глава X

Сбор серебра из отходов. Светочувствительные слои, не содержащие серебро 223

- § 1. Сбор серебра из серебросодержащих отходов 223
- § 2. Диазотипный процесс 228
- § 3. Светочувствительные слои с солями железа 229
- § 4. Светочувствительные бессеребряные слои с хромовокислыми солями 231
- § 5. Гидротипный процесс 232

Глава XI

Новые процессы получения фотографических изображений.

Оборудование фотолабораторий 234

- § 1. Диффузионный процесс 234
- § 2. Электрофотография 236
- § 3. Термографические и везикулярные процессы 239
- § 4. Получение изображений на фотоматериалах с проявляющим веществом в эмульсионном слое 242
- § 5. Оборудование крупных фотолабораторий 243

Список литературы 254